

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Návrh metodiky vyhodnocování homogenity materiálů
pomocí nedestruktivního zkoušení ultrazvukem.
(Design methodology for assessing the homogeneity
of materials using nondestructive ultrasonic testing.)

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.

Student:

Bc. Ivan Weingart

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ivan Weingart**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh metodiky vyhodnocování homogenity materiálů pomocí
nedestruktivního zkoušení ultrazvukem
Design Methodology for Assessing the Homogeneity of Materials Using
Nondestructive Ultrasonic Testing**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor současné metodiky zkoušení homogenity materiálu pomocí ultrazvuku.
2. Zhodnocení stávajícího způsobu vyhodnocování homogenity materiálu širokopátních kolejnic v podmínkách firmy.
3. Návrh nového způsobu vyhodnocování homogenity materiálu širokopátních kolejnic.
4. Ověření navržené metodiky zkoušení homogenity materiálu.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení stávajícího a nového řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

OBRAZ, J. *Ultrazvuk v měřicí technice*. Praha: SNTL Praha, 1984, 338 s.
OBRAZ, J. *Zkoušení materiálu ultrazvukem*. Praha: SNTL Praha, 1989, 464 s. ISBN 80-03-00097-1.
ŠVEHLA, Š. FIGURA, Z. *Ultrazvuk v technologii*. Bratislava: ALFA Bratislava, 1984, 322 s.
VĚCHET, M. A KOL. *Defektoskopie v otázkách a odpovědích*. Praha: SNTL Praha, 1989, 325 s. ISBN 80-03-00100-5.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 21.05.2012




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....*14.5.2012*.....

.....*Wangl*.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 14.5.2012

.....


Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Ivan Weingart

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Návší 45, Návší 739 92

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu mé práce panu doc. Ing. Ivo Hlavatému, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady a připomínky, které velmi přispěly ke vzniku této práce. Dále bych rád poděkoval své rodině, která mne podporovala nejen při tvorbě této práce ale i během celého studia.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

WEINGART, I. *Návrh metodiky vyhodnocování homogenity materiálů pomocí nedestruktivního zkoušení ultrazvukem: diplomová práce.* Ostrava :VŠB – Technická univerzita Ostrava, Katedra mechanické technologie, 2011, 50s. Vedoucí práce Hlavatý I.

Tato práce se zabývá problematikou nedestruktivního zkoušení širokopatných kolejnic pomocí ultrazvuku v podniku Třinecké železářny a. s. V úvodu jsou představeny jednotlivé metody nedestruktivního testování. Dále se práce věnuje návržení metodiky nedestruktivnímu zkoušení za použití více sekčních sond typu „Phased array“, výhodám a nevýhodám oproti sondám klasické konstrukce. K ověřování vlastností daných sond bylo použito přístroje Omniscan MX a vzorků s charakteristickými přírodními a uměle vytvořenými vadami. Dále se práce zabývá volbou a nastavením jednotlivých sond pomocí programu ESBeamtool, určených ke kontrole celého průřezu kolejnice.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

WEINART, I. *Design methodology for assessing the homogeneity of materials using nondestructive ultrasonic testing: Master Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Eninereng, Department of Mechanical Technology, 2011,50s. Thesis head: Hlavatý I.

The thesis deals with non-destructive testing of flat-bottom railway rails with ultrasound in the company Třinecké železářny a.s. Editorial presents various methods of nondestructive testing. Furthermore, the work deals with proposal for methodology of non-destructive testing using multiple sectional probes such as "Phased Array" and also evaluate advantages and disadvantages compared with conventional probes. For the verification of properties of the probes was used Omniscan MX and samples with natural and artificially created defects. Beside the thesis deals with the selection and setting of probes designed to control the cross section rails using ESBeamtool software.

Obsah

| | |
|--|----|
| SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK | 5 |
| Úvod..... | 6 |
| 1. Rozbor současné metodiky zkoušení pomocí ultrazvuku..... | 8 |
| 1.1. Druhy nedestruktivního zkoušení | 8 |
| 1.1.1. Zkoušení ultrazvukem..... | 8 |
| 1.1.2. Magnetická metoda | 9 |
| 1.1.3. Vizuální metoda | 9 |
| 1.1.4. Kapilární metoda..... | 9 |
| 1.1.5. Radiologie | 9 |
| 1.2. Druhy ultrazvukových vln | 10 |
| 1.2.1. Podélné vlny (L-longitudinální)..... | 10 |
| 1.2.2. Příčné vlny (T-transverzální) | 10 |
| 1.2.3. Povrchové vlny (R-Realeighovy) | 11 |
| 1.2.4. Deskový (D-Lambovy)..... | 12 |
| 1.2.5. Leoveovy vlny | 13 |
| 1.3. Druhy ultrazvukových sond..... | 13 |
| 1.3.1. Přímé sondy | 14 |
| 1.3.2. Úhlové sondy | 15 |
| 1.3.3. Sondy povrchových vln | 17 |
| 1.4. Druhy ultrazvukového zkoušení dle druhu akustické vazby | 17 |
| 1.4.1. Kontaktní vazba | 18 |
| 1.4.2. Imerzní vazba..... | 18 |
| 1.4.3. Bezkontaktní vazba..... | 18 |

| | | |
|--------|---|----|
| 1.5. | Druhy ultrazvukového zkoušení dle metody zkoušení | 19 |
| 1.5.1. | Průchodová metoda..... | 19 |
| 1.5.2. | Odrazová metoda | 20 |
| 1.5.3. | Rezonanční metoda..... | 21 |
| 1.5.4. | Ultrazvuková holografie | 22 |
| 1.5.5. | Akustická emise | 22 |
| 2. | Zhodnocení stávajícího způsobu vyhodnocování homogenity materiálu širokopátních kolejnic v podmínkách firmy | 23 |
| 2.1. | Historie a současnost Třineckých železáren | 23 |
| 2.2. | Válcovna předvalků a hrubých profilů | 24 |
| 2.3. | Blokovna a vratná trať | 24 |
| 2.4. | Kontrolní pracoviště VHw | 25 |
| 2.4.1. | Kontrola povrchu a rozměrů kolejnic za tepla..... | 26 |
| 2.4.2. | Měřicí centrum..... | 26 |
| 2.4.3. | Výstupní kontrola | 27 |
| 2.5. | Ultrazvuková kontrola na pracovišti měřicí centrum | 27 |
| 2.6. | Rozdělení kontrolovaných oblastí podle výskytu charakteristicky orientovaných vad | 28 |
| 3. | Návrh nového způsobu vyhodnocování homogenity materiálu širokopátních kolejnic | 31 |
| 3.1. | Geometrie Phased Array | 31 |
| 3.1.1. | Druhy ultrazvukových polí | 33 |
| 3.2. | Metody snímání fázových polí | 35 |
| 3.3. | Grafické výstupy..... | 36 |
| 3.4. | Volba sond a předádek pro jednotlivé oblasti | 38 |
| 4. | Ověření navržené metodiky zkoušení homogenity materiálu..... | 41 |
| 4.1. | Ověření metodiky zkoušení na zjišťování povrchových vad..... | 42 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.2. | Ověření metodiky zkoušení na zjišťování vnitřních vad | 48 |
| 4.3. | Volba a doporučené nastavení jednotlivých sond..... | 50 |
| 5. | Technicko-ekonomické zhodnocení stávajícího a nového řešení | 55 |
| 6. | Závěr | 56 |
| | Použitá literatura | 58 |
| | Seznam obrázků | 60 |
| | Seznam tabulek | 62 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

A-scan, B-scan, C-scan – Metody zobrazování ultrazvukového svazku

AE – Akustická emise

D-pila – Kontrolní pracoviště výroby za tepla

D - Tloušťka měniče (mm)

EC – Kontrola pomocí vířivých proudů

EMAT – Ultrazvukové testování pomocí elektricko-magnetického akustického měniče

ESbeamtool 4 – Grafický software

MC- Měřicí centrum

MOK – Mezioperační kontrola

NDT – Nedestruktivní zkoušení materiálu

PPo - Pracovní postup

TBK – Laserové zařízení s automatickým vyhodnocováním naměřených parametrů

TJ - Útvar zabezpečování jakosti

TŽ, a.s. - Třinecké železářny, a.s.

UT – Ultrazvuková kontrola

UV – Ultrafialové záření

VH – Válcovna předvalků a hrubých profilů

VHw – Útvar technické kontroly

2D, 3D – Dvojměrný nebo trojměrný pohled

Φ - Průměrná vada vměstku (mm)

λ - Vlnová délka (mm)

λ_T - Povrchová vlna.

Úvod

Ultrazvuková defektoskopie se řadí mezi základní metody nedestruktivního testování. Společně s magnetickou defektoskopií, metodou vířivých proudů a radioskopií patří k nejčastěji používaným metodám kontroly výrobního procesu a samotných výrobků v různých výrobních odvětvích. V lékařství se můžeme setkat například se sonografií, která taktéž využívá principy posuzování pomocí ultrazvuku.

Při testování materiálu pomocí ultrazvuku se využívá odrazu ultrazvukového svazku od jednotlivých indikátorů (vad). V minulosti nebylo možné zjistit časový průběh signálu tzv. A-scan (zobrazení amplitudy odražených signálů na časové ose). V současné době je ultrazvuková kontrola často automatizována a pro lepší orientaci je používána metoda C-scan nebo B-scan (2D nebo 3D zobrazení s plošným náhledem). Jako všechny obory nedestruktivního testování, se i ultrazvuková defektoskopie stále rozvíjí. Další rozvíjející se oblastí je také metoda fázových polí, dříve opomíjená především z finančních důvodů.

Kapitola 2 diplomové práce seznamuje s jednotlivými metodami nedestruktivního testování. Dále se zabývá rozdělením metod ultrazvukového zkoušení včetně základního rozdělení ultrazvukových sond.

Kapitola 3 seznamuje s principy kontroly výroby širokopatných kolejnic ve firmě Třinecké železářny a.s. V této kapitole je uvedeno rozdělení jednotlivých oblastí profilu vzhledem k výskytu charakteristicky orientovaných vad. Pomocí obrázků je znázorněno pokrytí jednotlivých oblastí ultrazvukovou kontrolou.

Kapitola 4 se věnuje seznámením s principy metody Phased Array a jednotlivými možnostmi ovládaní ultrazvukového svazku. Dále kapitola uvádí způsoby zobrazování metody fázových polí, dělení a značení ultrazvukových sond.

V kapitole 5 je uvedeno ověření navržené metodiky zkoušení, rozdělení použitých vzorků a porovnání mezi zkoušením pomocí jednoduchého a skupinového scanu. Také

je ověřeno dané nastavení sond na vzorku s přirozenou vadou v oblasti paty, nastavení sond a jejich rozmístění pro jednotlivé oblasti profilu a jejich pokrytí.

Šestá kapitola je věnována technickoeconomickému zhodnocení navržené metodiky zkoušení a seznamuje s výsledky jednotlivých pokusů.

1. Rozbor současné metodiky zkoušení pomocí ultrazvuku

Nedestruktivní metody zkoušení materiálu mají značný význam pro zvyšování kvality i spolehlivosti výrobků ve všech oborech, zejména ve strojírenství. Při zaručení celistvosti materiálu lze maximálně využívat všech jeho mechanických vlastností. Jednou z nejpoužívanějších a proto nejdůležitějších metod nedestruktivního zkoušení je ultrazvuková defektoskopie. Jí lze zjišťovat necelistvosti materiálu vznikající ve výrobě i v provozu jako důsledek mechanického namáhání [2].

1.1. Druhy nedestruktivního zkoušení

Nedestruktivní zkoušení (dále NDT) je zkoušení materiálu bez provedení změn jeho vlastností a tvaru, což je výhodou pro možnost zkoušení celého objemu výroby. Mezi nejpoužívanější metody nedestruktivního zkoušení patří:

- Zkoušení ultrazvukem
- Magnetická metoda
- Vizuální metoda
- Kapilární metoda
- Radiologie

1.1.1. Zkoušení ultrazvukem

Ultrazvuk je mechanické vlnění o frekvenci 20 kHz a větší. Detekce nehomogenit je založena na odlišném odrazu, absorpci nebo interferenci mechanického vlnění. Při NDT se využívá převážně při frekvenci větší než 50kHz. Výrazný rozdíl je v pohlcování ultrazvukových vln v plynech oproti pevným a kapalným látkám. Při defektoskopii se využívá jeho odraz od překážek v základním materiálu [5].

1.1.2. Magnetická metoda

Magnetická kontrola je určena výhradně pro lokalizaci vad vystupujících na povrch u feromagnetických materiálů. Při zmagnetování stejnosměrným nebo střídavým polem a nanesení feromagnetického prášku se tento soustředí v místě největšího gradientu pole. Často je magnetický prášek součástí suspenze, která je fluorescenční. Po zmagnetování a nanesení fluorescenční feromagnetické suspenze jsou pod UV lampou trhliny okamžitě viditelné [19].

1.1.3. Vizuální metoda

Vizuální kontrola je nejrozšířenější metodou z metod nedestruktivního zkoušení materiálu (NDT). Metoda je zaměřená na zjišťování a hodnocení stavu (vlastností) povrchů výrobků či součástí pouhým okem, nebo pomocí speciálních přístrojů či zařízení. Vizuální kontrola je prováděna na připraveném (očištěném, odmaštěném a vysušeném) zkoušeném povrchu součásti. Jakost této přípravy v důsledku ovlivňuje dosažitelnou citlivost zkoušky - identifikovatelnost vad [20].

1.1.4. Kapilární metoda

Touto metodou nedestruktivního zkoušení lze identifikovat pouze vady související s povrchem materiálu (např. póry, zápaly, studené spoje, trhliny, pod.) [2].

Kapilární kontrola patří mezi metody povrchové, vhodné pro zjišťování vad souvisejících s povrchem zkoušeného předmětu. Zkoušený materiál může být feromagnetický i neferomagnetický, ale nesmí být porézní. Ke zkoušce se využívá penetračních vlastností kapalin. Vytvořené indikace se vyhodnocují zrakem [18].

1.1.5. Radiologie

Tato metoda slouží především pro zjišťování vnitřních objemových vad - typů pórů, dutin, vměstků, studených spojů, neprovařených kořenů svarů, apod. Princip metody spočívá v průchodu ionizujícího záření zkoušeným materiálem, při kterém se mění v místě nehomogenit.[5].

1.2. Druhy ultrazvukových vln

V ultrazvukové defektoskopii se využívá vlastnosti šíření ultrazvukových vln v různých materiálech.

Při šíření ultrazvukové vlny prostředím se jeho částice rozkmitávají v různém směru vzhledem ke směru postupu vlny. Podle toho rozlišujeme druhy ultrazvukových vln [2].

1.2.1. Podélné vlny (L – longitudinální)

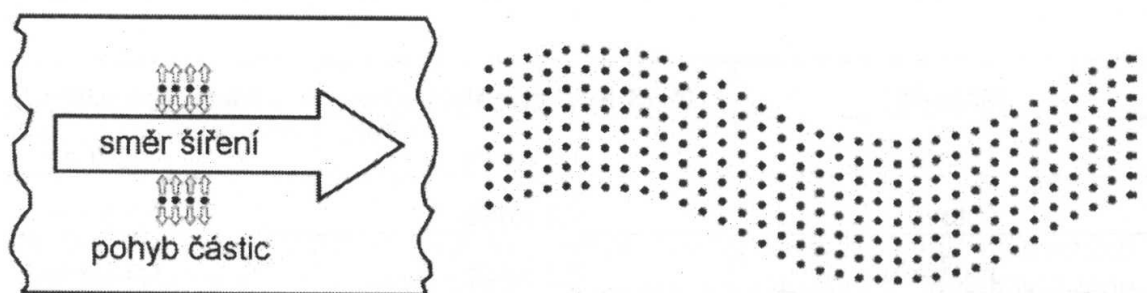
Při podélné vlně částice prostředí kmitají po přímkové dráze ve směru šíření vlny. Při tomto pohybu se prostředí střídavě zhušťuje a zředňuje, tj. vzniká střídavý tlak a tah. Přitom dochází i ke změně objemu prostředí. Podélné vlny (obr. 2.1) se mohou šířit tuhým, kapalným i plynným prostředím. Proto jde o druh vln, s nímž se nejčastěji setkáme. Jedinou podmínkou, aby se v prostředí mohla šířit čistě podélná vlna, jsou dostatečně velké rozměry prostředí vzhledem k délce vlny. Jako zvláštní druh podélné vlny se označuje vlna podpovrchová, která se šíří těsně pod povrchem rychlostí podélné vlny [1].



Obrázek 1.1: Podélné vlny[7]

1.2.2. Příčné vlny (T – transverzální)

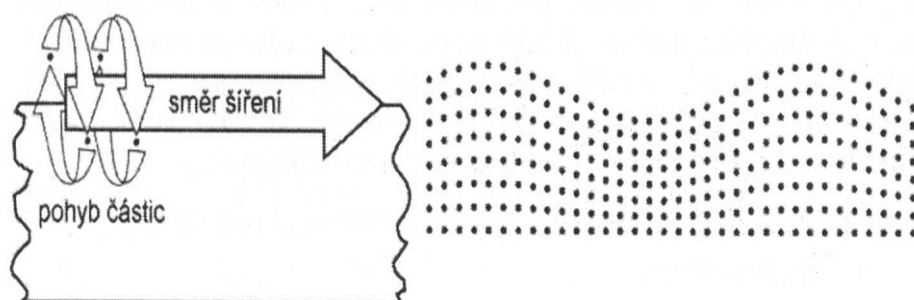
Pro zkoušení materiálu jsou významné i vlny příčné (obr. 2.2), které se také mohou šířit jen v prostředí s rozměry mnohem většími, než je délka vlny, avšak pouze takovém, které klade odpor namáhání ve smyku, tj. v prostředí tuhém. Částice prostředí kmitají po přímkové dráze, avšak kolmo na směr šíření. V kapalinách a plynech se příčné vlny nemohou šířit. Pouze některé kapaliny nebo pasty s velkou viskozitou mohou příčné vlny přenášet [2].



Obrázek 1.2: Příčné vlny[16]

1.2.3. Povrchové vlny (R – Rayleighovy)

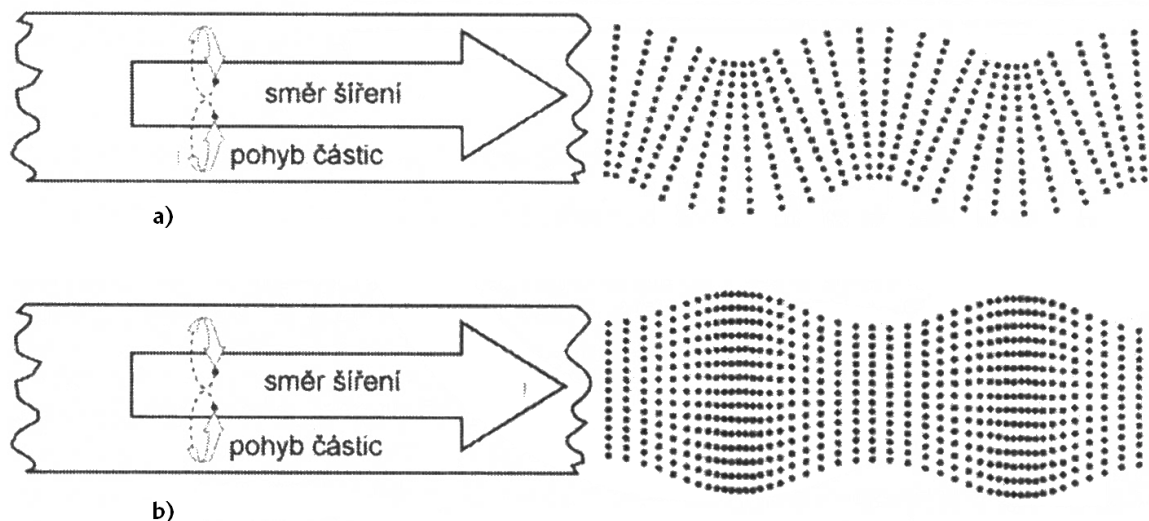
Na volném povrchu tuhé látky se mohou šířit povrchové Rayleighovy vlny (obr. 2.3). Jde o zvláštní příčné vlny, jejichž částice kmitají kolem rovnovážné polohy po eliptické dráze, protože na ně působí síla kolmá na směr šíření (příčná), která podstatně převyšuje sílu působící ve směru šíření (podélnou). Proto výsledný pohyb částic, vzniklý složením obou vektorů, probíhá po protažené elipse. Rovina kmitání je kolmá k povrchu prostředí. Podélná složka povrchové vlny ubývá s hloubkou rychleji než složka příčná. V hloubce rovnající se délce příčné vlny λ_T povrchová vlna prakticky zaniká. Na rozhraní tuhého kapalného prostředí se mohou vyskytnout vlny podobné Rayleighovým. Jsou však podstatně více tlumené a proto poměrně rychle zanikají [2].



Obrázek 1.3: Povrchové vlny [16]

1.2.4. Deskové vlny (D – Lambovy)

V prostředích, jejichž rozměry v jednom nebo ve dvou směrech jsou srovnatelné s délkou vlny, se mohou šířit sférické Lambovy vlny (obr. 2.4). V defektoskopii se jich používá ke zkoušení desek a drátů, a proto se podle použití nazývají vlny deskové nebo drátové. Vyskytují se ve dvou druzích, a to jako vlny ohybové (asymetrické) a jako vlny dilatační (symetrické). V obou případech částice prostředí kmitají po eliptické dráze v rovině kolmé k povrchu a tedy i na směr šíření, kromě částic na neutrální ose, kde u ohybové vlny je pohyb čistě příčný a u dilatační vlny čistě podélný. Poměr délek poloos elipsy závisí u obou druhů deskových vln na prostředí, které se při tom chová jako vlnovodu, např. při přítomnosti nehomogenit srovnatelných s délkou vlny, způsobuje odraz a útlum. Nehomogenity mohou být orientovány příčně i podélně. Obdobně jako v deskách mohou se Lambovy vlny šířit i v tyčích (drátech). V nich se mohou vyskytnout i kmity torzní. Ty se při zkoušení materiálu nepoužívají, zatímco s Lambovými vlnami se lze v defektoskopii setkat, i když jejich význam není velký [11].



Obrázek 1.4: Lambovy vlny:

a) asymetrická vlna b) symetrická vlna [7]

1.2.5. Loveovy vlny

Zvláštním případem Lambových vln jsou vlny Loveovy. Částice prostředí kmitají čistě příčnými kmity polarizovanými v rovině rovnoběžně s povrchem. Vyskytují se ve velmi tenkých vrstvách tuhého prostředí, které na jedné straně je pevně spojeno s jiným tuhým prostředím [2].

1.3. Druhy ultrazvukových sond

Základním prvkem sondy je piezoelektrický měnič. Tento prvek převádí elektrickou energii na mechanickou a naopak. Každá sonda může obsahovat jeden i více měničů. Jediným přírodním materiálem pro výrobu piezoelektrických materiálů je křemen, který se vzhledem k nedostatečné účinnosti prakticky nevyužívá. Nejúčinnějším materiálem pro výrobu vysílacího měniče je bariumtitanát a přijímacího lithiumsulfát [16].

Princip ultrazvukového zkoušení spočívá ve vybuzení elektrického impulsu, který dále vyvolá kmitání měniče v sondě, přičemž je využito piezoelektrického efektu. Čím menší je tloušťka piezoelektrického měniče, tím se zvyšuje frekvence samotného kmitání. Tato závislost je dána vzorcem [7]:

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (2.1)$$

, kde d.....tloušťka měniče (mm)

λ vlnová délka (mm).

Jednotlivé sondy můžeme rozdělit dle směru, kterým sonda vyzařuje ultrazvukový svazek vzhledem k povrchu. Z tohoto hlediska rozdělujeme sondy přímé, úhlové (směrové), sondy s povrchovým vlněním a sondy s podpovrchovým vlněním.

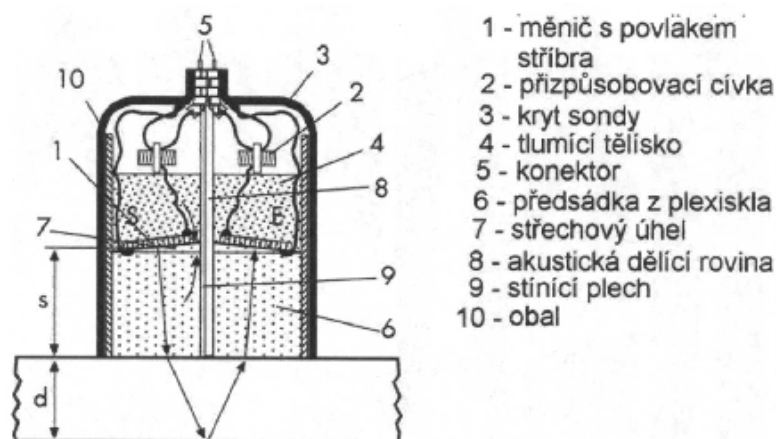


Obrázek 1.5: Ultrazvukové sondy[9].

1.3.1. Přímé sondy

Přímé sondy se řadí mezi nejčastěji používané sondy, které vysílají a přijímají ultrazvukové impulzy kolmé na stykovou plochu. Charakteristickým znakem přímých sond je používání měniče vysílacího podélné vlny. Používají se především v kontaktním zkoušení a při kolmém procházení svazku. Dle konstrukce můžeme tyto sondy rozdělit na:

- a) jednoduché – sonda obsahuje pouze jeden piezoelektrický měnič, který je schopen vysílat, tak i přijímat. Mezi hlavní nevýhody patří nedostatečné rozlišovací schopnosti v blízkém pásmu (tzv. mrtvé pásmo).
- b) dvojité – dva měniče (obr. 2.6) vůči sobě mírně nakloněny. Jeden měnič zastává funkci vysílače a druhý ultrazvukový signál přijímá. Mrtvé pásmo je závislé na úhlu naklonění jednotlivých měničů..

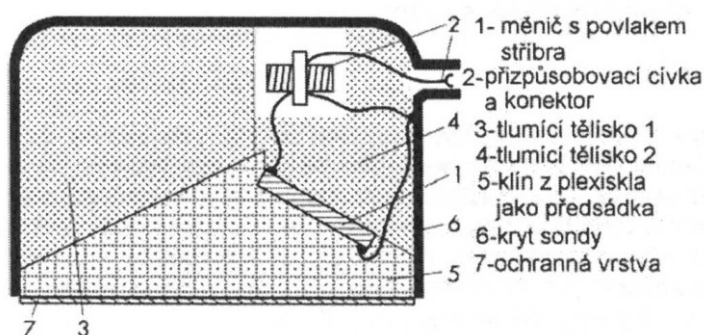


Obrázek 1.6: Dvojité sondy [7].

- c) s předsádkou – měnič je od zkoušeného materiálu oddělen vrstvou několika násobně větší tloušťky, než je vlnová délka ultrazvukového svazku. Sondy s předsádkou mají větší citlivost a menší mrtvé pásmo.
- d) pro příčné vlny – sondy vysílají pouze příčné vlny. Jako vazební prostředek je třeba použít například štěpařský vosk (voda nebo olej příčné vlnění nepřenáší).

1.3.2. Úhlové sondy

Úhlové sondy (obr. 2.7) využívají na rozdíl od sond přímých šikmý dopad svazku na rozhraní.



Obrázek 1.7: Konstrukce úhlové sondy [7].

Při dopadu zvukové vlny šikmo na rozhraní (hranice mezi dvěma prostředími s různými rychlostmi šíření zvuku), mohou vzniknout až čtyři vlnové složky, které se šíří dále pod určitým úhlem. Vztahy úhlu mezi jednotlivými složkami řídí Snellův zákon (obr. 2.8). Vznikne-li nová vlna v prostředí dopadající vlny, hovoříme o odrazu, pokud však vznikne v novém prostředí, jedná se o lom. Lomené a odražené vlny v daném prostředí mohou být obecně dvě – příčná a podélná. Jestliže při lomu nebo odrazu vzniká jiný druh, než vlna dopadající nazýváme tento jev vlnovou transformací [16].

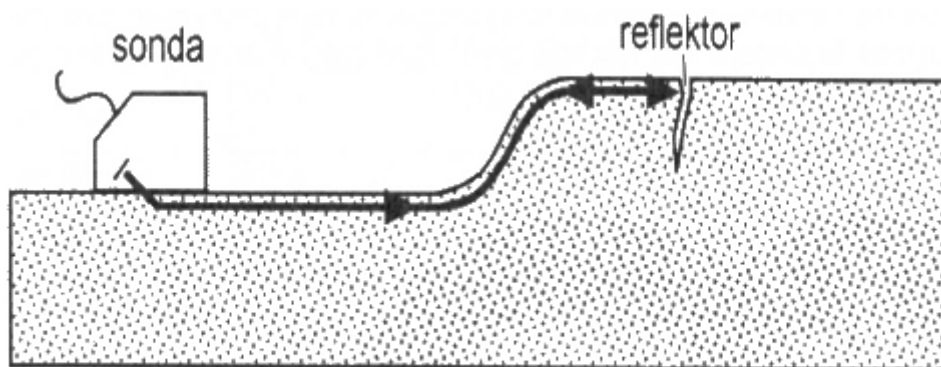
Snellův zákon popisuje tři základní situace, které mohou nastat při lomu případně odrazu mezi dvěma prostředími. První kritický úhel představuje úhel dopadu podélné vlny v prvním prostředí, při kterém podélná vlna mění na podpovrchovou. Při překročení tohoto úhlu podélná vlna z druhého prostředí zcela vymizí. Pokud budeme pokračovat v naklánění ultrazvukového svazku, nastane situace, kdy úhel příčné vlny v druhém prostředí dosáhne 90° . Tato situace se nazývá druhým kritickým úhlem. Dále můžeme dosáhnout tzv. třetí kritický úhel, což je situace, při které z příčné vlny v druhém prostředí vzniká povrchová vlna [17].



Obrázek 1.8: Vlnová transformace – Snellův zákon [16].

1.3.3. Sondy povrchových vln

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, povrchové vlny vznikají při dosáhnutí třetího kritického úhlu. Z čehož vyplývá, že sondy povrchových vln (obr. 2.9) jsou tedy obdobné konstrukce jako sondy úhlové. Dalším specifickým způsobem uhlové sondy jsou sondy podpovrchových vln.



Obrázek 1.9: Detekce povrchových trhlin [7].

1.4. Druhy ultrazvukového zkoušení dle druhu akustické vazby

Přenos zvuku do součásti je ovlivněn rozdílným opracováním povrchu. Mnoho předpisu proto předepisuje pro ultrazvukové zkoušení maximální hodnotu drsnosti a určitý vazební prostředek, aby ztráty na přechodu do materiálu nepřesáhly určitou mez. Pro zkoušení UT rozlišujeme tři typické stavy povrchu, které přenášejí zvuk buď lépe, nebo hůře[7]. Nejvhodnější pro zkoušení je povrch materiálu válcovaného výrobku.

Podle tloušťky vazební vrstvy mezi sondou a zkušebním povrchem rozlišujeme tři základní typy akustické vazby:

- a) kontaktní
- b) imerzní

c) bezkontaktní

1.4.1. Kontaktní vazba

Sonda je v přímém kontaktu se zkoušeným materiálem, pouze nerovnosti jsou vyplněné vazebním prostředkem. Jako vazební prostředek je nejčastěji používán kontaktní gel. Tato metoda je nejčastěji používaná při ručním zkoušení. Přenos ultrazvukových vln je výrazně ovlivněn přtlakem sondy.

1.4.2. Imerzní vazba

Imersní zkoušení využívá sloupec kapaliny (nejčastěji vodu) jako vazební prostředí pro přenos ultrazvukového svazku ze sondy do zkoušeného materiálu, přičemž sonda není v přímém kontaktu s materiálem. Proto imerzní zkoušení zaručuje konstantní podmínky vazby při kontrole, což je důležité zejména pro zkoušení součástí pravidelného tvaru (desky, trubky, tyče, kotouče apod.). Při imersním zkoušení se sondy musí udržovat ve stálých polohách vůči materiálu, proto se upínají do přesných držáků sond.

Kvůli zajištění všech výše uvedených podmínek se imerzní zkoušení používá zejména pro mechanizovanou, poloautomatizovanou a automatizovanou kontrolu. Imerzní zkoušení nabízí určité výhody jako rovnoměrnější vazba, větší rychlost zkoušení [2].

1.4.3. Bezkontaktní vazba

Pro některé speciální aplikace lze využít také tzv. bezkontaktního přenosu ultrazvuku do zkoušené součásti. Sem patří především technika EMAT, vytvářející ultrazvukové vlnění až ve zkoušeném elektricky vodivém materiálu a technika tzv. Air Coupled pracující na frekvencích okolo desítek a stovek kHz podélných vln, které je možné přenášet vzduchem.

Všechny uvedené typy akustické vazby je možné využít při zkoušení za normálních teplot. Někdy je nutno zkoušet i při vyšších teplotách (až 800°), např. při kontrole hutních polotovarů za tepla. Pro tento účel se vyrábějí speciální typy vysokoteplotních sond

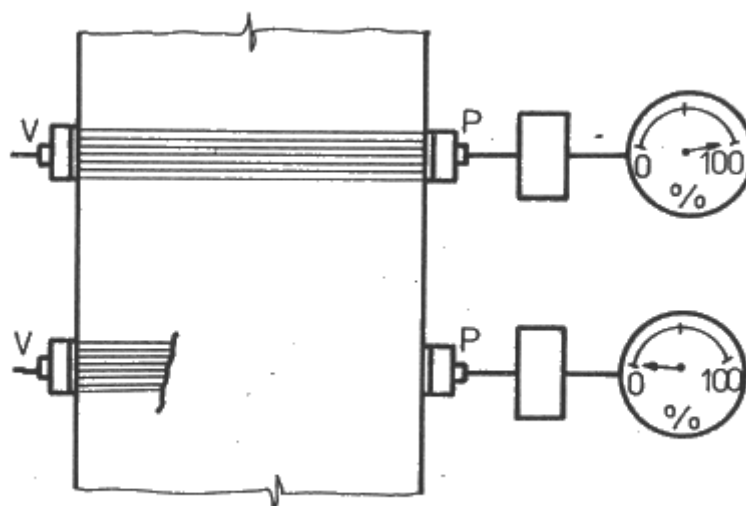
se speciálními předsádkami a vazební prostředky ve formě různých typů past, odolávající vysokým teplotám [16].

1.5. Druhy ultrazvukového zkoušení dle metody zkoušení

Každá z metod zkoušení materiálu ultrazvukem má svůj význam pro určitý druh zkoušení, pro nějž má optimální parametry. Proto jednotlivé metody se vzájemně doplňují, což nevylučuje okolnost, že v některých okrajových případech lze použít metod několik, jejichž působnost se překrývá. Totéž bývá i vzhledem k jiným metodám nedestruktivního zkoušení materiálu.

1.5.1. Průchodová metoda

Průchodová metoda zkoušení je nejjednodušší metodou zkoušení materiálu ultrazvukem. Necelistvost materiálu je překážkou, za níž se vytvoří ultrazvukový stín, tj. akustický tlak procházející ultrazvukové vlny se sníží. Na dvou protilehlých površích vyšetřovaného materiálu se souose umístí vysílací a přijímací sonda (obr. 2.10). Pokud není mezi vysílačem 1 a přijímačem 2 žádná necelistvost, prochází do přijímače určitý akustický tlak. Při přítomnosti necelistvosti přijímaný akustický tlak poklesne. Proto průchodová metoda je porovnávací způsob měření v místech bez necelistvosti a s ní. Nevýhodou této metody je nemožnost odlišit, zda pokles akustického tlaku je způsoben špatným akustickým navázáním, přítomností necelistvosti nebo změnou struktury materiálu. Proto tato metoda se používá především tehdy, kdy lze vyloučit změny akustické vazby, např. při imerzní metodě. Jinou nevýhodou průchodové metody je nutnost použít dvě oddělené ultrazvukové sondy, které na frekvencích řádu MHz jsou umístěny souose na protilehlých stranách zkoušeného materiálu. Tím je dán i jeho tvar, který musí mít konstantní tloušťku[2].



Obrázek 1.10: Průchodová metoda [7].

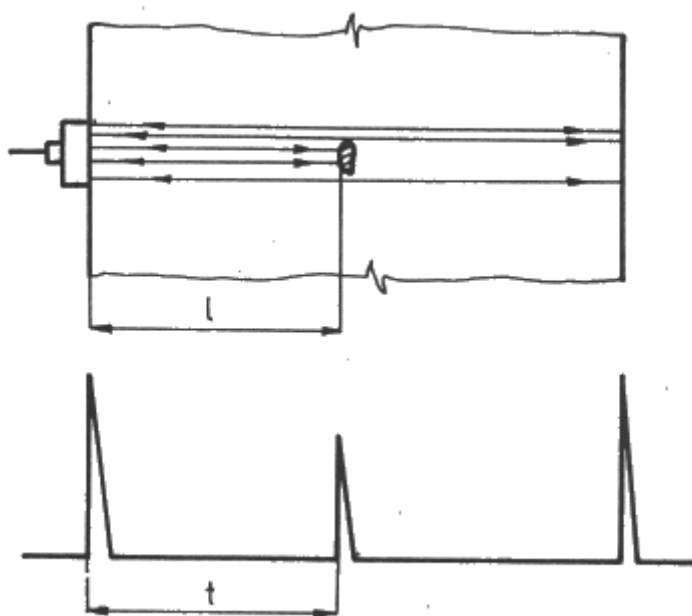
Použití průchodové metody pro zjišťování necelistvosti je omezeno na tenké materiály, kde se projevuje její jediná přednost před metodou odrazovou, a to, že nemá mrtvé pásmo. V tlustých materiálech ji nelze použít, zvláště když necelistvost je blízko vysílací sondy, protože se nepříznivě projeví ohyb ultrazvukových vln [12].

Dříve byla tato metoda používána při vysílání signálu jak spojitým, tak i impulsovým. Při spojitém vysílání bylo možno jako zobrazovací zařízení použít například jednoduchý ručkový přístroj. I přes jednoduchost přijímacího zařízení se dnes již spojitá metoda nepoužívá. Průchodová metoda s impulsovým vysíláním je sice nákladnější na vybavení zkušebního zařízení, ale je zato univerzálnější [1].

1.5.2. Odrazová metoda

Impulsová metoda odrazová (obr. 2.11) je nejrozšířenější při nedestruktivním zkoušení materiálem ultrazvukem. Je všestranně použitelná a poskytuje nejvíce informací o vyšetřovaném předmětu, a to jak o jeho necelistvostech, tak i o struktuře materiálu, rozměrech apod. [2].

Na rozdíl od průchodové metody jsou ultrazvukové sondy umístěny na jedné straně zkoušeného materiálu a postačí jeden přístupový povrch zkoušeného předmětu. Dle konstrukce jednotlivých sond může být použito buď dvou sond, jedné vysílací a druhé přijímací, anebo jedna sonda, která je jak vysílací tak i přijímací. Při zkoušení z více směrů je možné určit také charakter vady. Nevýhodou této metody je složitost vyhodnocení parametrů necelistvosti a výskytu mrtvého pásma v blízkosti vysílací sondy. Tuto metodu ultrazvukové defektoskopie je možné mechanizovat a je vhodná k automatizaci samotného zkoušení [7].



Obrázek 1.11: Odrazová metoda [7].

Impulzová odrazová metoda dává informaci o vzdálenosti odrazové plochy podle zpoždění, s nímž se odražený impuls (echo) vrátí do sondy a o velikosti odrazové plochy podle výšky echa [2].

1.5.3. Rezonanční metoda

Při použití rezonanční metody se využívá vlastnosti stojatých vln, které vznikají při spojitém vysílání. Tato metoda se využívala např. k měření tloušťky prostředí, nebo

při zjišťování vad rovnoběžných s povrchem jako jsou například zdvojeniny u plechu. V dnešní době se od rezonanční metody ustupuje pro její omezení konstantní tloušťky na zkoušení předmětu [2].

1.5.4. Ultrazvuková holografie

Holografie je způsob zobrazení využívající interferenční jevy buď světelných, nebo ultrazvukových vln. Původně objevená metoda byla optická a teprve později byla aplikována pro ultrazvuk. Na obrázku je zařízení pro ultrazvukovou holografii, které využívá hladinu kapaliny pro vytvoření hologramu [13].

Když hologram osvětlíme světlem laseru, např. toho, jehož světlo bylo použito jako referenční vlna, dostaneme třírozměrný obraz předmětu. Výhodou optické holografie je možnost získat třírozměrné zobrazení, ačkoli hologram je dvourozměrný. V nedestruktivním zkoušení materiálu se optická holografie používá k zobrazení deformací povrchu zkoušeného materiálu, např. vystavenému mechanickému nebo tepelnému namáhání [2].

1.5.5. Akustická emise

Metoda Zkoušení materiálu využívající akustické emise (AE) je založena na analýze signálů vznikajících při rozšiřování trhliny v materiálu. Zařazujeme ji mezi nedestruktivní metody, i když jde o metodu zkoušení, která je použitelná pouze v provozu při mechanickém namáhání materiálu. Vznik a šíření trhlín jsou doprovázeny uvolňováním energie nashromážděné v materiálu ve formě vnitřního pnutí. Jde tedy o pasivní metodu ultrazvukového zkoušení, při níž se pouze akustické signály přijímají. Tyto signály jsou ve formě vysokofrekvenčních impulsů [14].

2. Zhodnocení stávajícího způsobu vyhodnocování homogenity materiálu širokopatných kolejnic v podmínkách firmy

2.1. Historie a současnost Třineckých železáren

Třinecké železářny patří k průmyslovým podnikům s nejdelší tradicí hutní výroby v České republice. Jejich počátek se datuje do roku 1836, kdy se v původně zemědělské obci Třinec započalo s výstavbou dřevouhelné pece na výrobu železa. Z důvodu nízkého obsahu manganu se vyrobená ruda nejlépe hodila ke slévání. Z tohoto důvodu byla v roce 1842 postavena slévárna. O tři roky později byla započata také výstavba smaltovny. V roce 1859 byla do Třince z Ustroně přemístěna lupkova válcovací trať. Tato trať obsahovala tři válcovací duo stolice. V roce 1885 byl zvýšen výkon původního pohonu z 58.8 kW na 184 kW. Lupové tyče z této tratě sloužily jako vsázka pro jemnou a střední trať. Hlavním výrobním sortimentem jemné trati byla tyčová ocel, drát a pásková ocel. Střední trať vyráběla jednak taktéž tyčovou ocel ale také důlní kolejnice, žebrové tyče, tyče drobného kolejiva a ploštiny. Další významnou etapou rozvoje Třineckých železáren byla výstavba Košicko-bohumínské dráhy v roce 1871, která umožnila dodávku surovin ze vzdálenějších ložisek a také zpřístupnila nové trhy z hlediska odbytu. Později do Třince byla přemístěna i hrubá trať a v roce 1879 válcovna železničních nákolků. Hrubá trať sloužila pro výrobu kolejnic do hmotnosti 35 Kg/m., válcovna železničních nákolků vyráběla vagonové osy pro dvojkolí, kované hřídele a různé tvarové výkovky. V roce 1891 byla do provozu uvedena vratná trať, jejímž hlavním výrobním sortimentem byly předvalky, bramy, sochory a také různé profily jako jsou například kolejnice o váze do 45 Kg/m anebo U a I profil. Zajímavým prvenstvím Třineckých železáren je elektrifikace válcovny jako první na světě dne 28.07. 1906 byly vyměněny parní pohony vyměněny za elektrické. Dalším výrazným krokem byl v roce 1914 přechod na výrobu z ingotů o hmotnosti 3-4 tuny. Ve dvacátých letech 20. století z důvodu velkých investic a rozvoje patřily Třinecké železářny k nejmodernějším ve střední Evropě. V roce 1937 prošla vratná trať celkovou rekonstrukcí a tím byla rozšířena výroba na kolejnice

o hmotnosti až 60 Kg/m a výšce 160 mm. Další zvýšení hmotnosti kolejnic do 75 Kg/m a délek 25 m bylo v roce 1961. V roce 1983 byla zahájena výroba na kyslíkové konvertorové ocelárně včetně možnosti vakuování, homogenizace a odsíření SL tryskou. V roce 1989 byl zahájen přechod na plynule odlévanou ocel. Od roku 1993 se v Třineckých železárnách zavedla výroba kolejnic až 36 m. O tři roky později byla zavedená kontrola homogenity materiálu kolejnic pomocí ultrazvuku a vířivých proudů a výroba kolejnic o celkové délce až 75 m. Dnes jsou Třinecké železářny podnikem s uzavřeným hutním výrobním cyklem, který je zaměřen především na výrobu dlouhých válcovaných výrobků [6].

2.2. Válcovna předvalků a hrubých profilů

Výroba kolejnic probíhá v několika níže uvedených etapách. První operací je ohřev materiálů (kontisliček) používaného na této trati prováděný v krokové nebo hlubinných pecích. V krokových pecích se ohřívají jen kontisličky o rozměrech 350 x 300 a v hlubinných pecích se provádí ohřev ingotů a kontisliček kruhového průřezu o průměru 320, 410, 525. Zahřátý materiál se pohybuje pomocí valníků a příčných přetahů k blokovně, následně k válcovací stolici atd. [15].

2.3. Blokovna a vratná trať

Válce blokovny (obr. 3.1) o průměru 960 mm a délce 2 250 mm válcují kontisličky. Blokovna pracuje v cyklu s vratnou tratí. Výrobní program blokovny tvoří předvalky (bloky) a bramy k dalšímu zpracování [15].



Obrázek 2.1: Blokovna [6]

Vratná trať má čtyři duostolice v otevřeném uspořádání. První stolice slouží pouze pro válcování sochorů. Hlavním výrobním sortimentem této tratě jsou kolejnice v délce až 78 m, I a U profily, příslušenství pro železniční svršek a sochory, které jsou vesměs zpracovávány na dalších hotovostních tratích. Kolejnice dále putují do úpravny kolejnic, kde se za tepla kolejnice označí číslem tavby a pořadím při lití. Dále kolejnice pokračuje na rovnací linku a měřící centrum. Po kontrole kolejnic se na pilovrtacích strojích provede zkrácení kolejnice na požadovanou obchodní délku, popřípadě se provede potřebné děrování dle požadavku zákazníka. Dále se na dorovnávacích strojích provede dorovnání konců kolejnic a jako konečná úprava se provede obroušení konců kolejnic. Před expedicí proběhne finální kontrola kvality kolejnic jak rozměrových vlastností, tak i kvality povrchu [15].

2.4. Kontrolní pracoviště VHw

Vzhledem k standardizaci a zajištění kvality jednotlivých výrobků musí být každý výrobní proces ovlivňován také kontrolními činnostmi. Tyto kontrolní činnosti se provádějí

během celého procesu výroby na různých pracovištích. Jednotlivé požadavky jak na kvalitu tak i na technologický proces jsou uvedeny v jednotlivých státních normách týkajících se různých druhů širokopatných kolejnic. Různé státy preferují odlišné druhy kolejnic s odlišnými požadavky na jejich kvalitu a proto se jednotlivé státní normy od sebe liší. Velká část norem však vychází z evropské normy pro Vignolovy kolejnice EN 13674-1 a liší se jen specifickými požadavky jednotlivých odběratelů.

2.4.1. Kontrola povrchu a rozměrů kolejnic za tepla

První stanoviště je kontrola povrchu a rozměrů kolejnic za tepla. Na tomto pracovišti se provádí vizuální kontrola povrchu na chladicím loži a pomocí videozáznamu snímaného vysokorychlostní kamerou a kontrolou rozměrů vývalku pomocí laserového měřicího zařízení TBK. Dle příslušných norem jsou vypracovány pracovní postupy (PPo) pro jednotlivé druhy kolejnic. Obsahem jednotlivých PPo jsou kontrolní body určující postup kontroly daných profilů, jako jsou například rozměry profilu (výška kolejnice, šířka hlavy, šířka paty atd.), výskyt šup, rýh nebo otlaků a dalších bodů.

2.4.2. Měřicí centrum

Na tomto stanovišti je rozmístěna defektoskopická linka, která je zaměřena na kontrolu rozměru a povrchu kolejnic za studena a jejich tříděním. Zde se u jednotlivých kolejnic ověřují rozměry na laserovém zařízení TBK obdobným způsobem jako u předešlého stanoviště. Dále se zde proměřuje rovinatost kolejnic, což je vlastně ověření činnosti rovinací linky, která je umístěna před měřícím centrem. Mezi další zařízení defektoskopické linky jsou zařízení EDDYTRON a SONOTRON. Eddytron slouží k zjišťování povrchových vad pomocí zkoušení vířivými proudy. Zkušební hlavice tohoto zařízení jsou rozděleny na statické (zachycují příčné vady) a dynamické (zachycují podélné vady). Zařízení Sonotron je zaměřeno na zjišťování vnitřní homogenity materiálu pomocí ultrazvukových vln. Při tomto zkoušení se využívá sond s příčným nebo podélným šířením vln. Zachycené vady se zde vyhodnocují a kolejnice se třídí k dalšímu zpracování. Jednotlivé zařízení procházejí periodickými kalibračními procesy. Jednou ročně jsou jednotky kontrolovány a seřizeny odpovědnou firmou danou výrobcem, dále jsou všechny kontrolní linky kalibrovány na začátku jednotlivých kampaní, rozdělených dle druhu

kolejnice. Kontrolní linka Sonotron je kalibrována nejméně jednou za směnu, zejména při změně obsluhy kontrolní linky.

2.4.3. Výstupní kontrola

Jako poslední z těchto tří kontrolních pracovišť je výstupní kontrola. Zde se provádí kontrola oprav vad na jednotlivých kolejnicích a konečná kontrola rozměrů pomocí šablon, za účasti přejímacích inspektorů jednotlivých odběratelů. V případě výskytu jakékoliv neshody je kolejnice buď sešrotována, nebo je místo vhodně označeno a kolejnice je vrácena k opětovnému zpracování na kratší obchodní délky.

Každá kolejnice je během celého procesu monitorována a na konci výrobního procesu obdrží protokol o kvalitě.

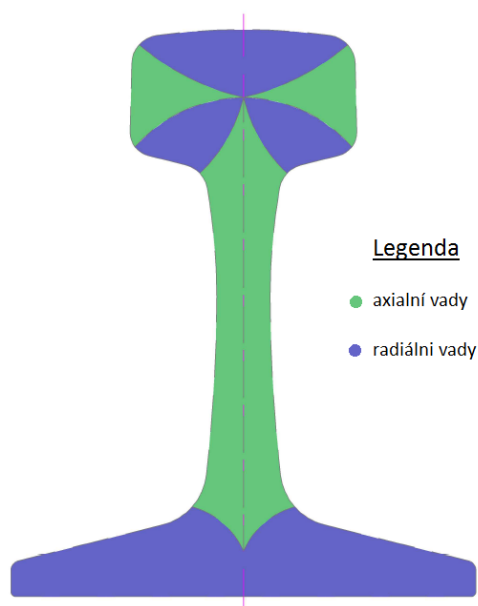
2.5. Ultrazvuková kontrola na pracovišti měřicí centrum

Jak jsem se již dříve zmínil, ultrazvuková kontrola kolejnic probíhá na lince Sonotron kterou dodala kanadská firma NDT Technologies Inc. Tato linka je osazena přímými, úhlovými a také sondami s povrchovým vlněním. První dva zmiňované typy sond jsou vhodné pro odhalování vnitřních vad materiálu typu vměstek, dutina atd. Sonden s povrchovým vlněním jsou vhodné především na zjišťování povrchových vad typu trhliny. Ke kontrole se využívá celkem 22 sond, z toho 8 přímých, 6 úhlových a 8 sond s povrchovým vlněním.

Jako výstupní protokol je lineární graf maximální amplitudy v závislosti na vzdálenosti od počátku kolejnice. Při překročení povolené velikosti vad se aktivuje akustický alarm a rozsvítí se dioda na informačním panelu určující polohu jednotlivé vady. Operátor měřicího centra zjistí polohu vady a na pracovišti zrcadlení se fyzicky vada ověří. Při překročení tolerance se místo označí k pozdějšímu odstranění na dalším pracovišti, kde se kolejnicové pásy dále zpracovávají na zákazníkem požadované délky.

2.6. Rozdělení kontrolovaných oblastí podle výskytu charakteristický orientovaných vad

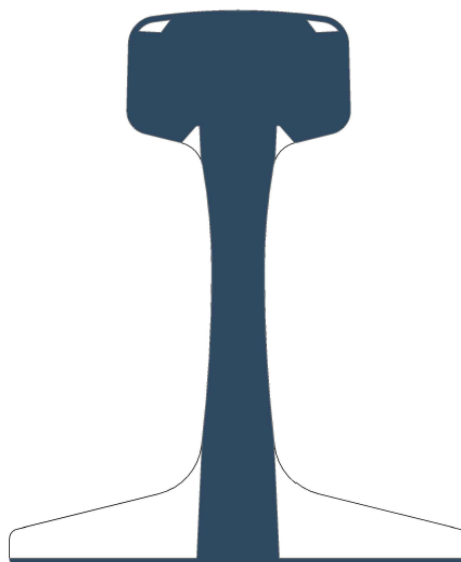
Jednotlivé rozmístění sond a kapacita zkoušených oblastí jsou dány především normami jednotlivých států odebírajících jednotlivé typy kolejnice pro své státní dráhy. Tyto normy specifikují jednotlivé oblasti výroby. Jsou zde uvedeny jednak technologické podmínky, které je nutné dodržet k zajištění požadované kvality daného výrobku, tak jsou uvedeny podmínky kontroly jednotlivých procesů. Tyto normy jsou nadále rozšířeny o specifické požadavky jednotlivých odběratelů. Dle orientace vad můžeme jednotlivé oblasti kolejnice (obr. 3.2) rozdělit na oblasti s výskytem axiálních, nebo místa s výskytem radiálních vad vůči ose průřezu kolejnice.



Obrázek 2.2: Dělení oblasti dle orientace vad

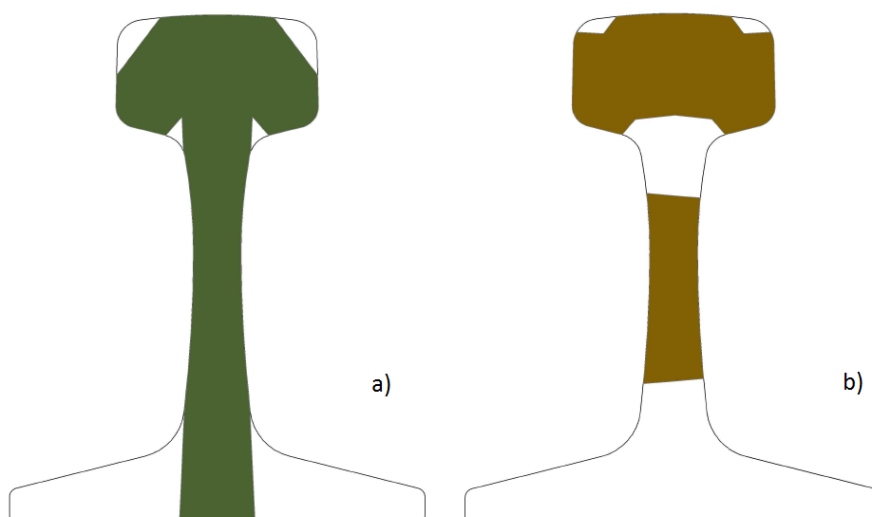
Výskyt těchto jednotlivých oblastí je především ovlivněn postupem tváření kolejnice a probíhajícími deformacemi během pracovního procesu.

Při vyznačení jednotlivých svazků sond do průřezu kolejnice jsou patrná místa, která jsou kontrolována pomocí ultrazvuku (obr. 3.3).



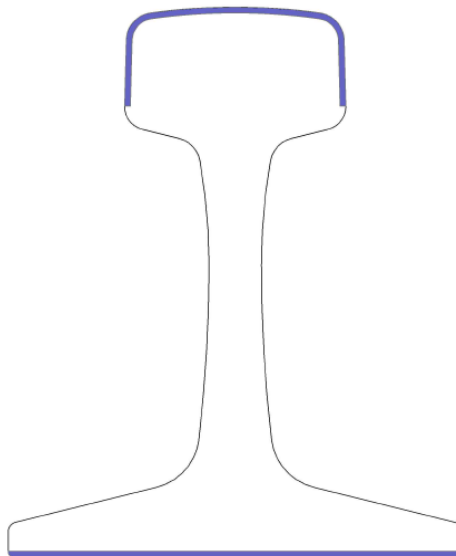
Obrázek 2.3: Oblasti kolejnice kontrolované pomocí ultrazvuku

Tyto místa dále můžeme rozdělit na oblasti kontrolované na výskyt axiálně nebo radiálně orientovaných vad (obr. 3.4).



Obrázek 2.4: Dělení kontrolovaných oblastí podle orientace vad
a) radiální vady b) axiální vady

Zvláštní skupinu tvoří sondy zaměřující se na zjišťování povrchových trhlin. Tyto sondy využívají principu povrchového vlnění. Jednotlivé oblasti jsou znázorněny na obrázku 3.5.



Obrázek 2.5: Oblasti kontrolované na výskyt povrchových trhlin

Zvláštní orientaci mají sondy označené B1 a B2. Tyto sondy jsou úhlové a navíc jsou pootočený o 45° od osy kontrolované kolejnice. Tyto sondy mají zvýšenou citlivost pro detekci, jak radiálních, tak i axiálních vad, což je dáno především avizovaným pootočením těchto sond od osy kolejnice.

Dle obr.: 11 až 14 je patrné, že v oblasti paty jsou místa bez kontroly na výskyt radiálně orientovaných vnitřních vad.

3. Návrh nového způsobu vyhodnocování homogenity materiálu širokopátních kolejnic.

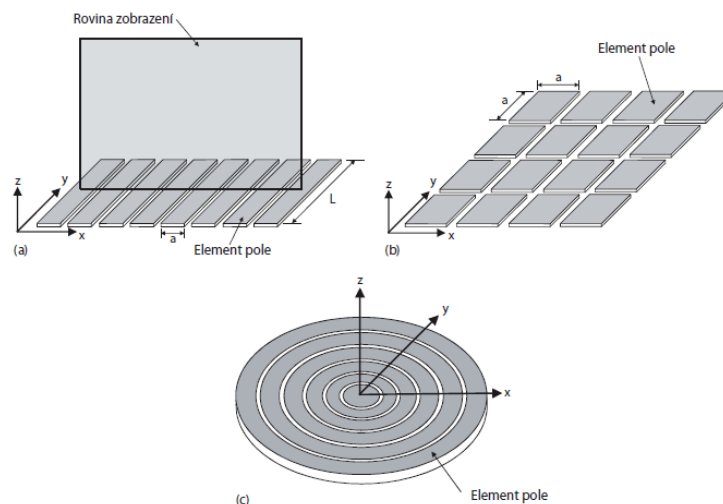
Jednou z variant jak nahradit klasické sondy je možnost použití sond Phased Array (obr. 4.1).



Obrázek 3.1: Sondy Phased Array[9]

3.1. Geometrie Phased Array

Jednotlivé měniče jsou většinou v ultrazvukovém poli seřazeny za sebou v jednodimenzionálním poli, dvoudimenzionálním poli nebo jsou uspořádány do kruhu. Dvoudimenzionální uspořádání je využíváno především v lékařské oblasti, ale pro nedestruktivní testování se příliš nepoužívá. Kruhová pole jsou navržena tak, že dokáží měnit pouze hloubku, do které se má zaostřit, ale není s nimi možné provádět vychylování ultrazvukového svazku. Na obrázku 4.2 jsou zobrazena tato základní uspořádání. [21]



Obrázek 3.2: Základní uspořádání fázových polí:
 a)jednodimenzionální, b)dvoudimenzionální, c) kruhové[21]

Materiály ultrazvukových polí se za posledních 15 let výrazně vyvinuly zejména díky lékařské technice a podvodním sonaru. Pole byla vyráběna tradičně z bloku piezokeramického materiálu jako je zirkoničitan-titaničitan olova, který byl rozřezán na jednotlivé elementy použitím diamantové strunové pily. Mezery mezi elementy mohou být vyplněny ztrátovým polymerem, aby se tak zabránilo „přeslechům“ mezi elementy. Dále se vývoj ubíral směrem k využití piezokompozitních materiálů, ty v nižší akustickou impedanci, a proto se dají lépe využívat ve vodě, což se hodí zejména v medicíně a v oblasti sonarů. Ačkoliv při nedestruktivním testování se zkoumá zejména pevný materiál, díky výborné redukci přeslechů používá spousta fázových polí právě piezokomponentní materiály. Vysokou piezoelektrickou účinnost mají 1-3 kompozity. Jejich velká výhoda spočívá v rozmanitosti použitelnosti. Z těchto materiálů lze vytvořit pole, které se přizpůsobí tvaru zkoumaného materiálu a přesně přilne k jeho povrchu. Těchto polí se však v průmyslu zatím příliš nepoužívá. Velký zájem v této oblasti nastal o jedno krystalové materiály díky jejich vysoce účinné elektromechanické vazbě na materiál. [10]



a)



b)

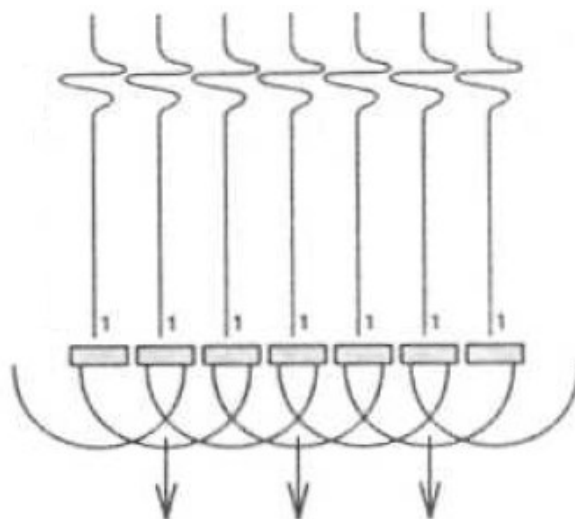
Obrázek 3.3: Konstrukce měniče:

a)klasická konstrukce, b)lineárně dělený měnič [7]

Sondy Phased Array jsou konstrukčně tvořeny z jednotlivých měničů miniaturních rozměrů (viz obr.4.3). V dnešní době se vyrábějí sondy i se 126 měniči, ale při zvláštních požadavcích zákazníka se zhotovují sondy i s větším počtem měničů nebo i tvarově náročnější sondy. Jednotlivé měniče jsou seskupovány do elementů, který je buzen každý zvlášť. Nejčastější velikost jednotlivých elementů u jednodimenzionální konstrukce sondy jsou 16 měničové svazky. Jednotlivé měniče daného elementu je možné budit samostatně s odlišným časovým posuvem vůči ostatním. Tímto můžeme dosáhnout různých efektů ultrazvukového svazku, jenž u klasických sond bylo možno získat jen pomocí změny geometrie sondy, tvarem předsádky, nebo uložení samotného měniče.

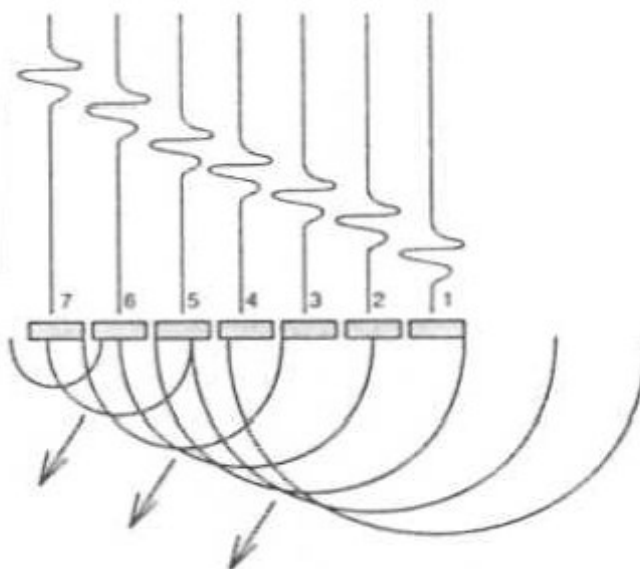
3.1.1. Druhy ultrazvukových poli

Jestliže jsou měniče buzeny ve stejný okamžik, jde o tzv. ultrazvukové pole lineární (obr. 4.4). Tyto sondy mají poté shodný princip zkoušení jako u klasických sond přímých.



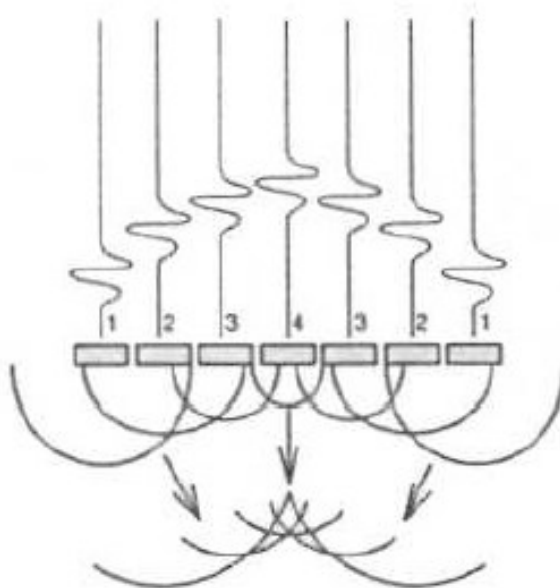
Obrázek 3.4: Ultrazvukové pole lineární [7]

V případě, že jednotlivé měniče budíme se stejně velkým časovým odstupem, získáme naklonění ultrazvukového svazku (obr. 4.5). V tomto případě je princip zkoušení obdobný jako u sond úhlových. Úhel natočení ultrazvukového svazku dosažený časově odstupňovaným buzením jednotlivých měničů má vhodné vlastnosti vždy jen v určitém pásmu. Pokud vyžadujeme větší úhel naklonění, musíme k sondě přiložit předsádku ve formě klínu z plexiskla, jinak může docházet ke zkreslování získaných informací.



Obrázek 3.5: Naklonění ultrazvukového svazku [7]

Další možnosti záměrné deformace ultrazvukového svazku je fokusace. Jde o buzení jednotlivých měničů s časově proměnlivým odstupem (obr. 4.6).



Obrázek 3.6: Fokusace ultrazvukového svazku [7]

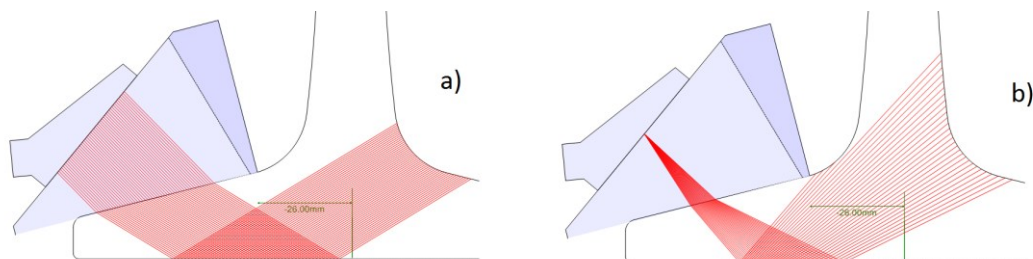
3.2. Metody snímání fázových polí

Dalším rozdělením metody fázových polí je dělení podle druhu skenování. Dle nastavení můžeme provádět sektorové a lineární snímání nebo jejich kombinaci.

Sektorové skenování se vyznačuje zapojením jen předem určené skupiny elementů. Tento svazek je předem definován a je zaměřen na určité místo ve zkoumané oblasti. Výhodou je větší hustota ultrazvukového svazku a tedy i větší citlivosti na zachycení vad menších rozměrů v dané oblasti.

Na rozdíl od sektorového se u lineárního snímání využívá všech elementů, které jsou seskupeny do svazků o stejné velikosti. Například Phased Array sonda s 64 elementy v režimu lineárního skenování sepne nejdříve elementy 1-16 dále 2-17, 3-18, 4-19 a nakonec sepne svazek s elementy 49-64. Jak je patrné z obrázku 4.7 sektorový scan má šířku svazku ve větších vzdálenostech širší ale s menší hustotou jednotlivých paprsků.

Oproti tomu lineární scan se vyznačuje stejnou šířkou svazku po celé jeho délce. Z toho lze usuzovat, že sektorový scan je vhodný pro menší hloubku vady, kdežto lineární scan má šířku svazku a jeho hustotu po celé délce stejnou a tedy jeho specifické vlastnosti se nemění.

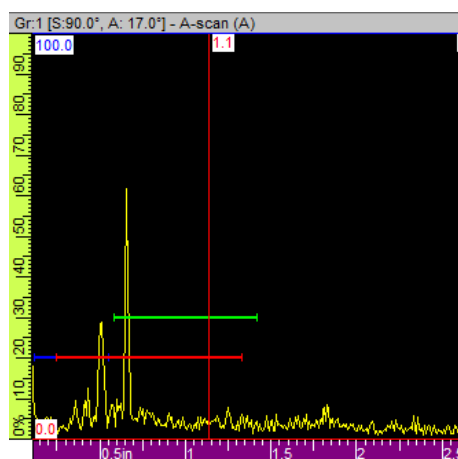


Obrázek 3.7: Metody snímání fázových polí

a) lineární b) sektorové

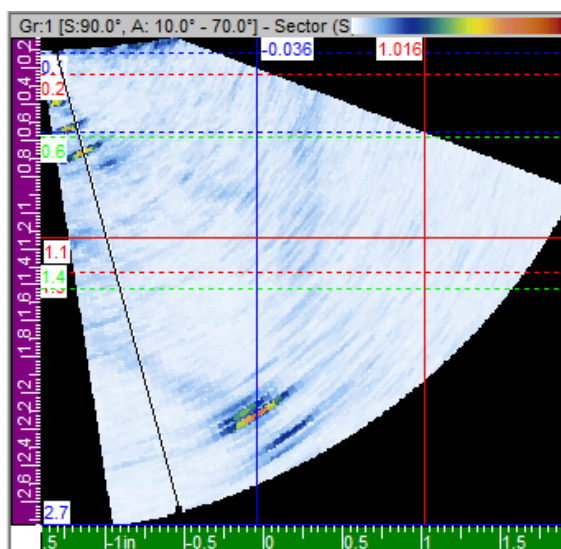
3.3. Grafický výstup

Základní části defektoskopického přístroje je výstupní zařízení. Dle požadavku mohou být různé druhy tohoto zařízení zobrazující samotný průběh zkoušení, počínaje akustickým signálem, číslcovým monitorem nebo monitorem zobrazujícím samotný průchod ultrazvukového svazku jednak ve dvourozměrné nebo třírozměrném zobrazení (A-scan, B-scan, C-scan).



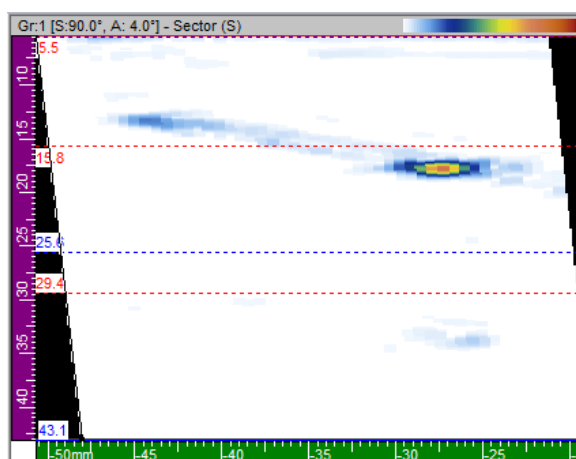
Obrázek 3.8: A-scan

A-scan – je to základní zobrazení u většiny přístrojů. Toto zobrazení udává informace pouze o jednom aktuálním scanu. Toto zobrazení znázorňuje jednak výšku echa charakterizující velikost vady a také čas, za který ultrazvukový paprsek dorazí k vadě. Většina přístrojů místo časové osy udává osu rozměrovou.



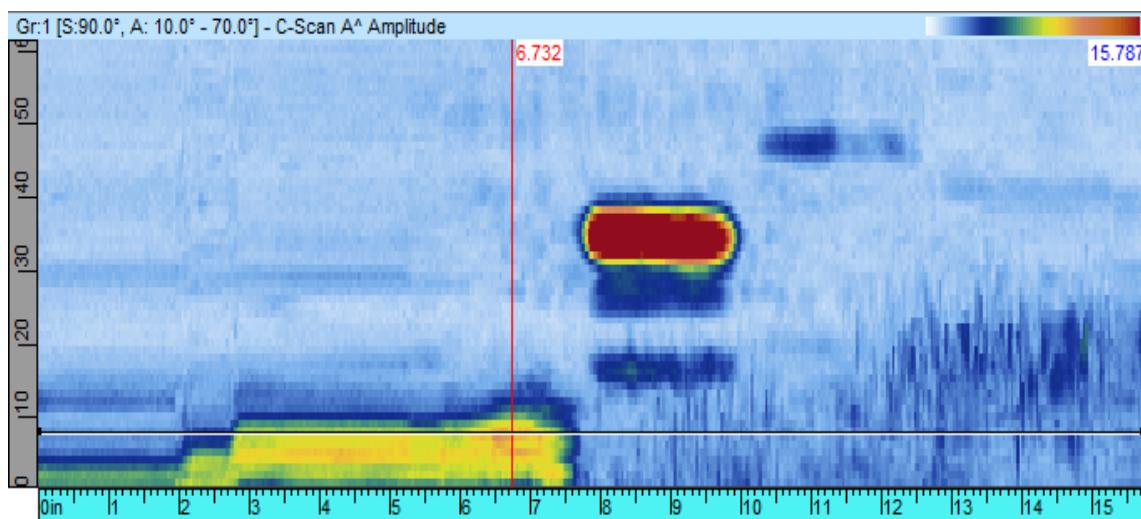
Obrázek 3.9 Sektorový scan

Sektorové scan – typické zobrazení při použití metody Phased Array. Používá se především u prozvučování šikmým svazkem. Uvedený druh skenování je charakteristické ultrazvukovým svazek se specifickým divergenčním úhlem a ohniskovou vzdáleností rozkládajícím se kolem osy zvolené skupiny měničů.



Obrázek 3.10 Lineární scan

Lineární scan – taktéž používaný u metody Phased Array. Na rozdíl od sektorového scanu je možno použít i u kolmého prozvučování.



Obrázek 3.11 C-scan

C-scan – dvojrozměrné zobrazení ultrazvukových dat s délkou snímání na jedné ose a délkou indexu na druhé ose. Tento druh skenování se také nazývá horním pohledem.

B-scan – dvojrozměrné zobrazení ultrazvukových dat s délkou snímání na jedné ose a dráhou na ose druhé.

3.4. Volba ultrazvukových sond a předsádek pro jednotlivé oblasti

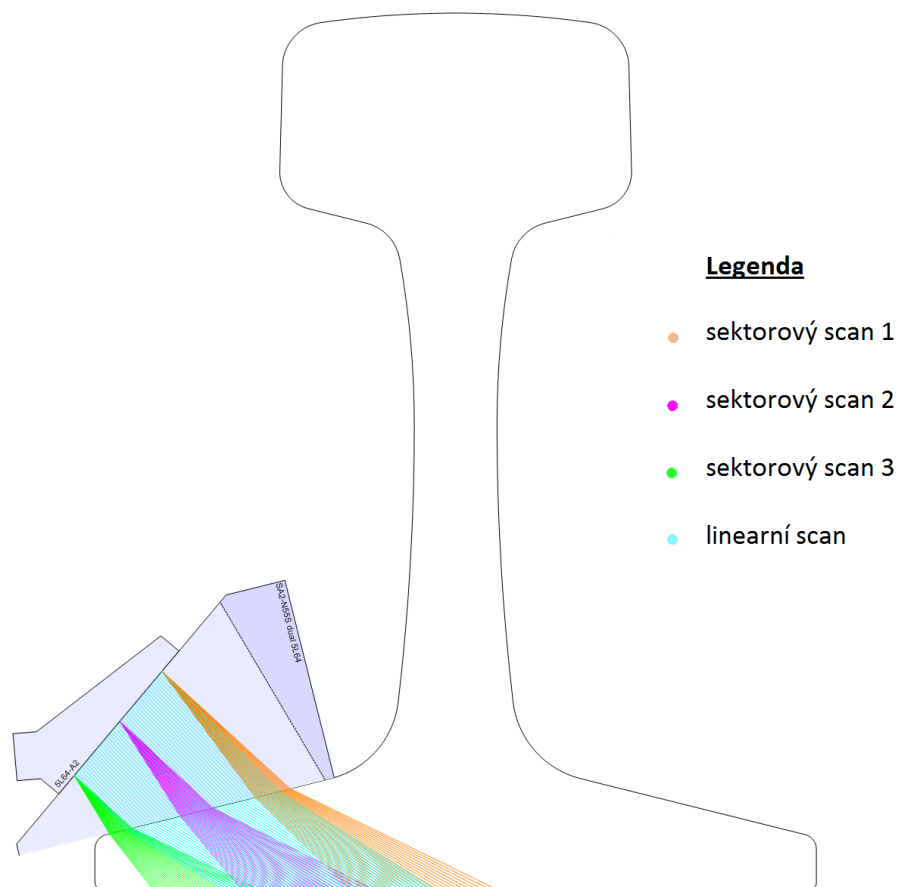
Z důvodu specifických geometrických vlastností jednotlivých sledovaných oblastí daného profilu je třeba pro jednotlivé oblasti volit různé druhy sond. Dalším důležitým aspektem je fakt zda budeme zjišťovat vnitřní nebo povrchové vady.



Obrázek 3.12: Předsádky[9]

Pro ověření metodiky zkoušení homogenity materiálu na výskyt povrchových vad jsem zvolil oblast paty přesněji řečeno její spodní část. Z důvodu výskytu mrtvého pole u všech sond jsem zvolil přiložení sondy na horní plochu paty (obr. 4.9). Při simulaci byla použita sonda 5L64–A2. Jak už bylo dříve zmíněno, je možné tuto sondu používat pouze s externí předsádkou. V našem případě byla vybrána předsádka s označením SA2-N55S vhodná pro nastavení sondy s šikmým svazkem. Předsádka je klínová s nominálním úhlem 55° . Další výhodou sond Phased Array je možnost nastavit jeden a více jednotlivých ultrazvukových svazků s individuálním nastavením specifických vlastností a citlivosti, čímž můžeme jednou sondou nahradit několik jednotlivých sond klasické konstrukce.

Pro znázornění změny citlivosti bylo během ověřování navrhované metodiky použito nastavení jednoduchého a děleného scanu ultrazvukového svazku. Dělený ultrazvukový svazek (obr. 4.13) byl rozdělen na tři sektorové a jeden lineární scan. Tento způsob nastavení přístroje by měl zaručovat jak identifikaci povrchových vad na spodní straně paty pomocí tří sektorových scanů, tak i zachycení indikací pocházejících od vnitřních vad umístěné téměř po celém průřezu paty. Pro identifikaci vnitřních vad by měl především sloužit lineární scan.



Obrázek 3.13: Sonda 5L64-A2 - dělený scan

Pro ověření metodiky zkoušení homogenity materiálu na výskyt vnitřních vad byla zvolena oblast stojiny. V tomto případě je taktéž použita sonda 5L64-A2. Dále je zvolena předsádka SA2-0L. Tato předsádka má nulový nominální úhel a je určena především k lineárnímu zkoušení. Z důvodů zakřivení stojiny je třeba samotné zkoušení provádět imersním způsobem. Navrhované nastavení by mělo být vhodné především k zachycení axiálních vad v oblasti stojiny.

4. Ověření navržené metodiky zkoušení homogenity materiálu.

K zajištění správnosti navrhovaná metodiky zkoušení je zapotřebí ověřit citlivost nastavení sond jak pro zachycení povrchových vad (trhlin a přeložky), tak i vnitřní vady (vměstky). Při ověřování jednotlivých nastavení a postupů bylo použito přístroje Omniscan MX (obr. 5.1) sondy 5L64-A2 předsádek SA-0L a SA-55S a tří vzorků o délce 30 cm.

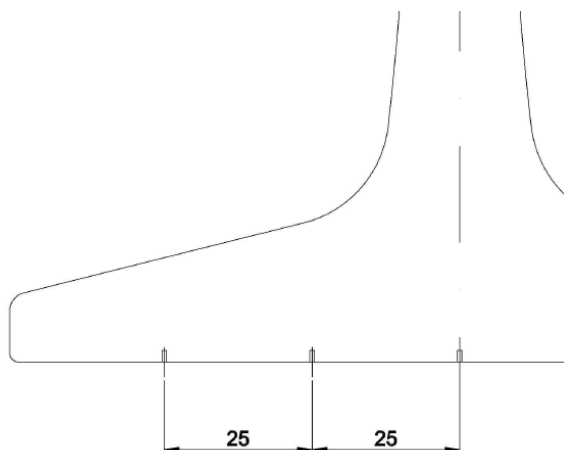


Obrázek 4.1: Přístroj Omniscan MX[9]

První vzorek obsahuje výrobní vadu v oblasti paty a je určen k ověření zachycení povrchových vad typu trhliny zejména v oblasti spodní plochy paty. Vada je umístěna zhruba 30 mm od okraje paty a prochází celou délkou vzorku. Hloubka vady je 0,64 mm.

Druhý vzorek, který vykazuje výrobní vadu v oblasti stojiny a je určen k zjišťování vnitřních vad typů vměstků. Tato vada se skládá z několika jednotlivých vměstků o průměrné velikosti $\Phi = 2$ mm.

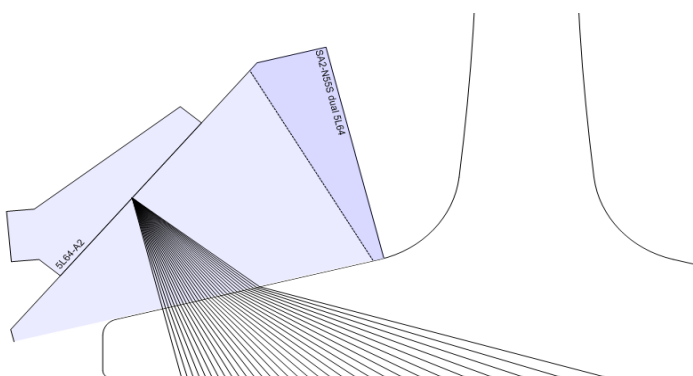
Na třetím vzorku jsou zhotoveny umělé vady ve tvaru tří drážek o tloušťce 0,2 mm a hloubce 0,5 mm. Drážky jsou v oblasti paty rozmístěny v různých vzdálenostech od kraje paty. Tento vzorek má charakter kalibračního vzorku pro nastavení citlivosti sondy a dalších volitelných parametrů.



Obrázek 4.2: Náčrt rozložení umělých vad

4.1. Ověření metodiky zkoušení na zjišťování povrchových vad

Při ověření této metodiky bylo použito nastavení sondy uvedené na obrázku 4.9. Použita byla sonda 5L64-A2 s předsádkou SA2-55S. Jedná se o sondu s 64 elementy a pracovní frekvenci 5 MHz. Předsádka je úhlová s nominálním úhlem 55°. K porovnání bylo použito nastavení s jednoduchým sektorovým scanem (obr. 5.3).



Obrázek 4.3: Sektorový scan - jednoduché nastavení

Hodnoty nastavení jednotlivých parametrů jsou uvedeny v tabulkách 5.1 a 5.2.

Tabulka 4.1: Nastavení sondy pro jednoduchý scan v oblasti paty

| Nastavení sondy 5L64-A2 | |
|-------------------------|------------|
| jednoduchý scan | |
| | |
| Typ vlnění | příčné |
| rychlost šíření vlnění | 3237,1 m/s |
| scan | sektorový |
| počet elementů | 16 |
| první element | 26 |
| poslední element | 42 |
| počáteční úhel | 0° |
| koncový úhel | 60° |

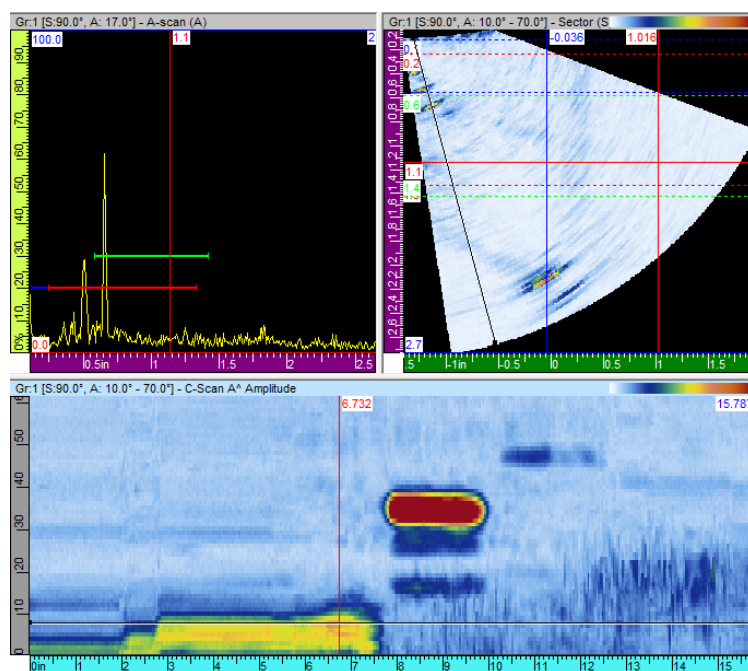
Tabulka 4.2: Nastavení sondy pro skupinový scan v oblasti paty

| Nastavení sondy 5L64-A2 | | | | |
|-------------------------|------------|-----|-----|----------|
| skupinový scan | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Typ vlnění | příčné | | | podélné |
| rychlost šíření vlnění | 3237,1 m/s | | | 5890 m/s |
| scan | sektorový | | | lineární |
| počet elementů | 16 | | | 16 |
| první element | 1 | 26 | 49 | 1 |
| poslední element | 16 | 41 | 64 | 64 |
| počáteční úhel | 24° | 26° | 32° | 44° |
| koncový úhel | 50° | 49° | 50° | |

Při ověření metodiky pomocí jednoduchého scanu byly zachyceny tři indikace. První indikace byla v hloubce 16,4 mm od styčné plochy sondy a zkoumaného vzorku a 29,5 mm od počáteční hrany předsádky označované jako nulový bod. Tato indikace odpovídá vadě

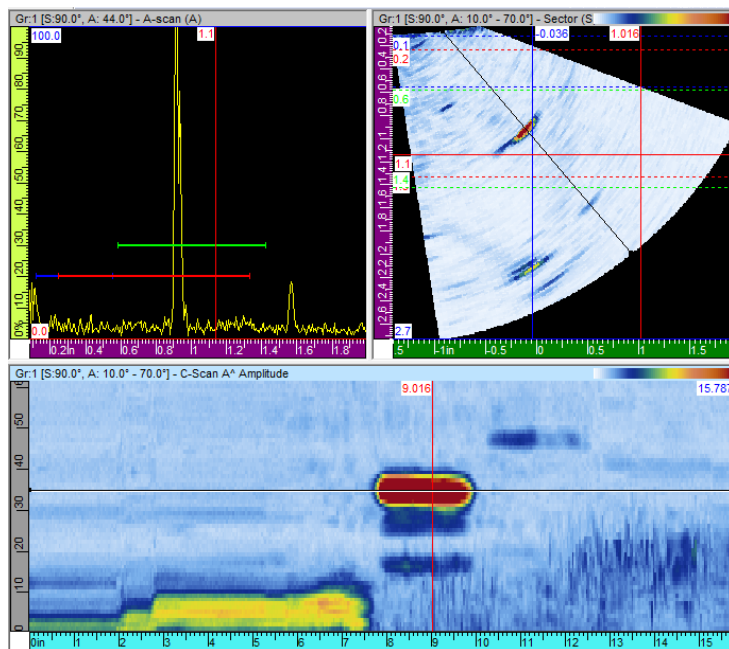
č. 1 umístěné na spodní ploše paty umístěné 50 mm od osy průřezu. Další indikace zachycená při tomto nastavení byla vzdálená v hloubce 23,9 mm od styčné plochy a v sloupci vzdáleném 5,4 pod sondou od nulového bodu. Tuto indikaci můžeme přiřadit vadě č. 2. Třetí indikace, která se nachází v hloubce 29,7 mm, ale oproti předchozím vadám se indikace nenachází před sondou ve vzdálenosti 19,1 mm před nulovým bodem. Tuto poslední indikaci můžeme přiřadit vadě č. 3, která je umístěna pod stojinou.

Při ověření metodiky pomocí jednoduchého scanu je patrné, že při zachycení vady č. 1 je dosti značně zvýšený šum v okolí samotného vadového echa (obr. 5.4). Tento šum má zřejmě původ v tvarové indikaci (odraz od hrany materiálu).



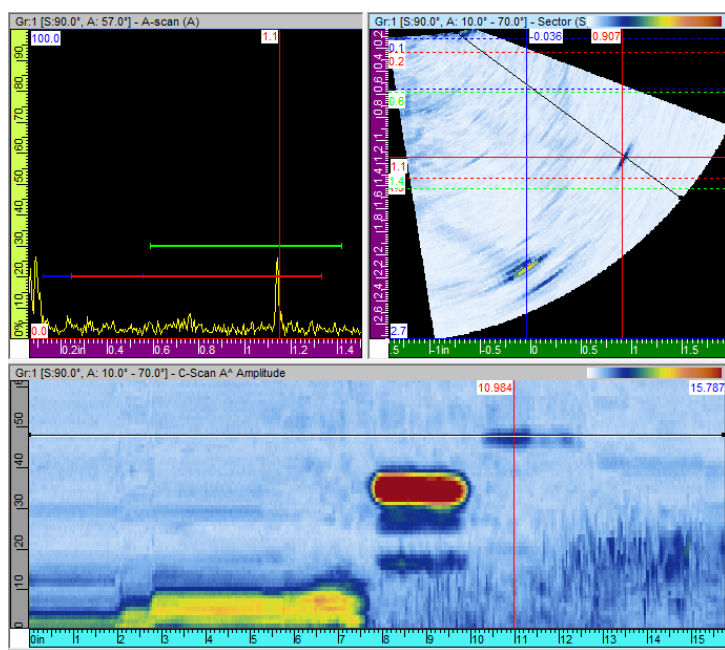
Obrázek 4.4: Zobrazení jednoduchého scanu v oblasti paty – vada č.1

V případě zachycení druhé vady je vadové echo jednoznačné bez jakýchkoliv omezení (obr. 5.5).



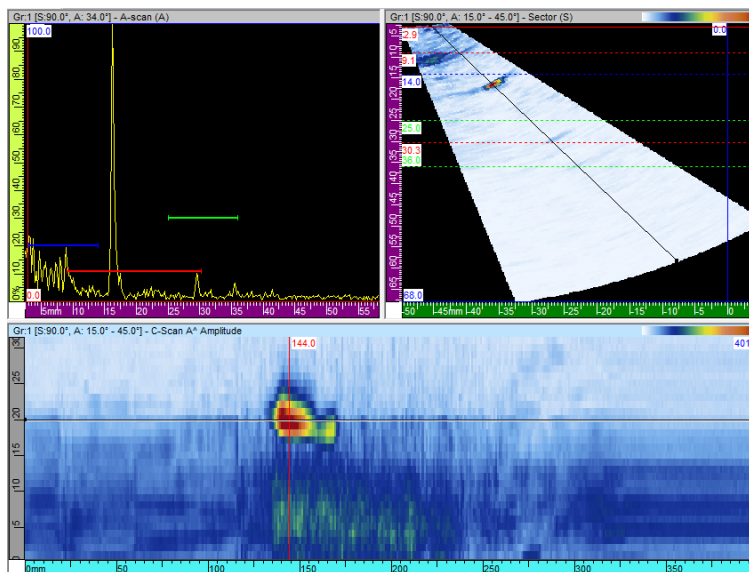
Obrázek 4.5: Zobrazení jednoduchého scanu v oblasti paty – vada č.2

U zachycení vady č.3 je indikace oproti předchozím případům o poznání menší. Toto je patrné především na A-scanu, kde vadové echo nedosahuje ani 30% výšky zobrazení na monitoru (obr. 5.6).



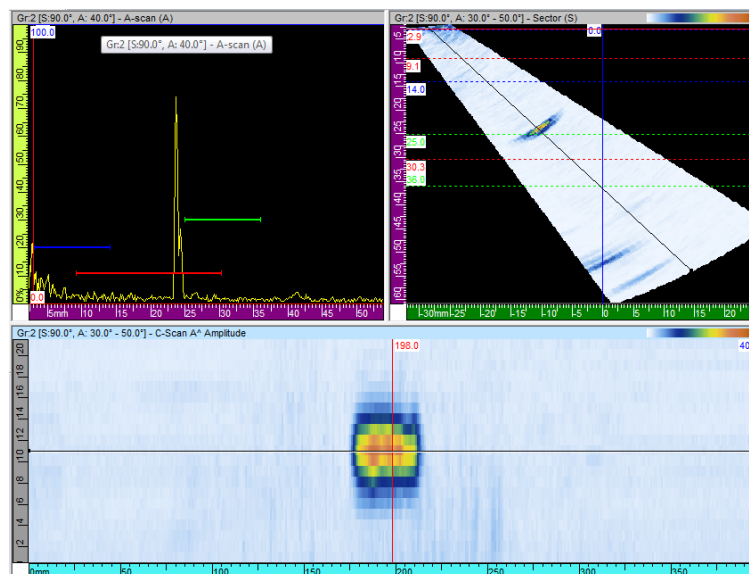
Obrázek 4.6: Zobrazení jednoduchého scanu v oblasti paty – vada č.3

V případě použití skupinového scanu je výsledek o poznání jednoznačnější. Indikace od vady č. 1 dosahuje na A-scanu výšku celého monitoru. V místě vady není ani žádný výskyt zvýšeného šumu.



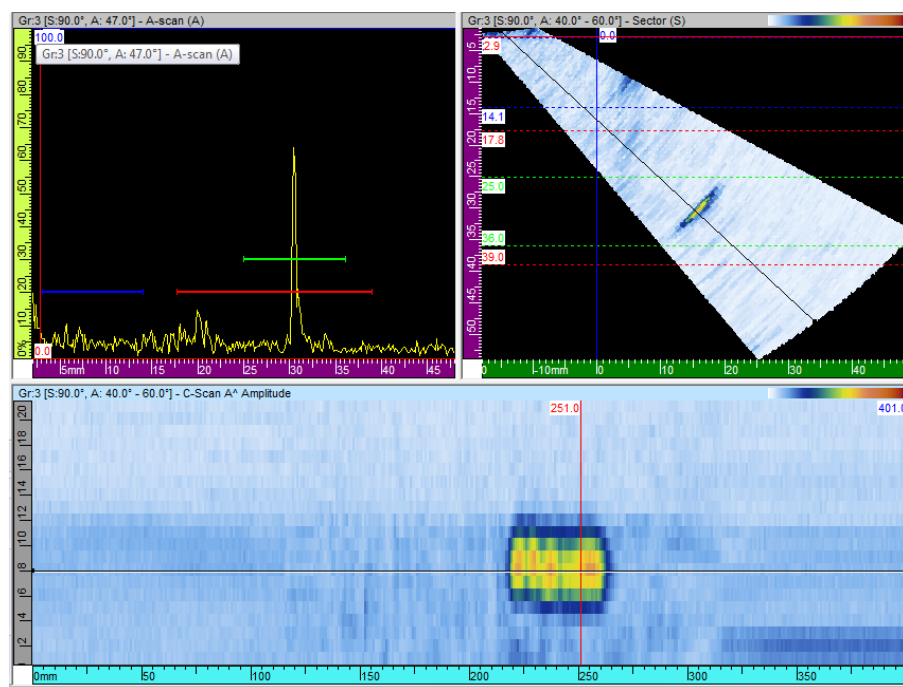
Obrázek 4.7: Zobrazení skupinového scanu v oblasti paty – vada č.1

Ani v případě indikace vady č. 2 nejsou žádné pochybnosti v jednoznačném určení vady.



Obrázek 4.8: Zobrazení skupinového scanu v oblasti paty – vada č.2

Taktéž vada č. 3 je jednoznačně identifikovatelná.



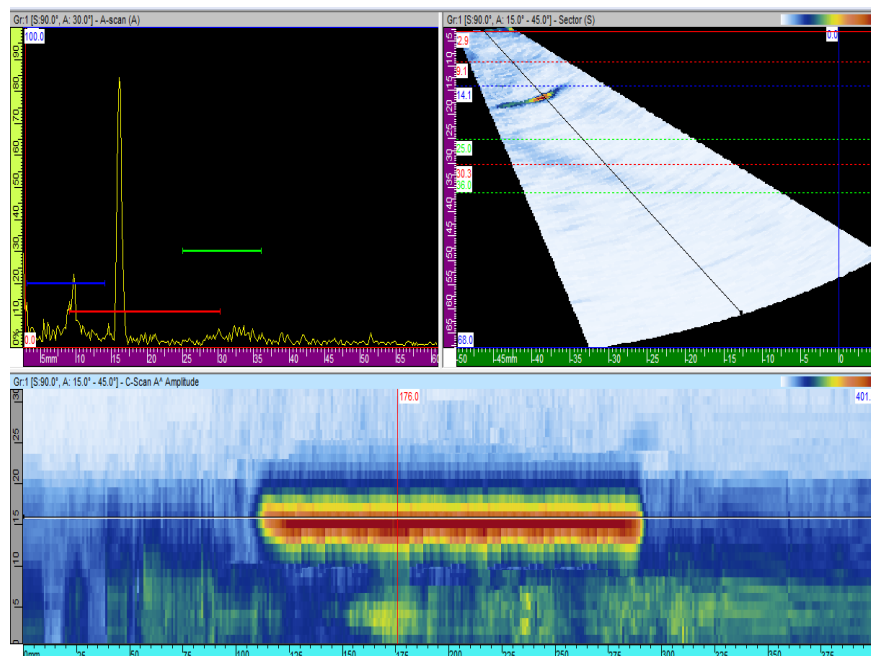
Obrázek 4.9: Zobrazení skupinového scanu v oblasti paty – vada č.3

Z důvodů použití vzorku s umělou vadou a pravděpodobnosti, že zejména šířka přirozené vady je několika násobně menší lze považovat nastavení jednoduchého scanu za nedostačující.

V případě použití skupinového scanu jsou výsledky o poznání lepší a zejména skutečnost absence jakéhokoliv zvýšeného šumu zaručuje nadále změnu citlivosti v případě požadavku na zachycení vad menších rozměru než na použitém vzorku. Také zesílení je oproti jednoduchému scanu nižší i přesto že u třetího sektorového scanu byla hladina zesílení zvýšena oproti předchozím dvěma scanům.

Pro odstranění pochybnosti z důvodu použití vzorku s umělými vadami bylo nastavení se skupinovým scanem použito na vzorku s přirozenou vadou.

Jak je patrné z obrázku 5.10 i přirozená vada v oblasti spodní plochy paty byla jednoznačně zachycena. Indikace v zobrazení A-scanu dosahuje 86% výšky monitoru, což odpovídá velikosti vady 0,7mm.



Obrázek 4.10: Indikace přirozené vady

4.2. Ověření metodiky zkoušení na zjišťování vnitřních vad

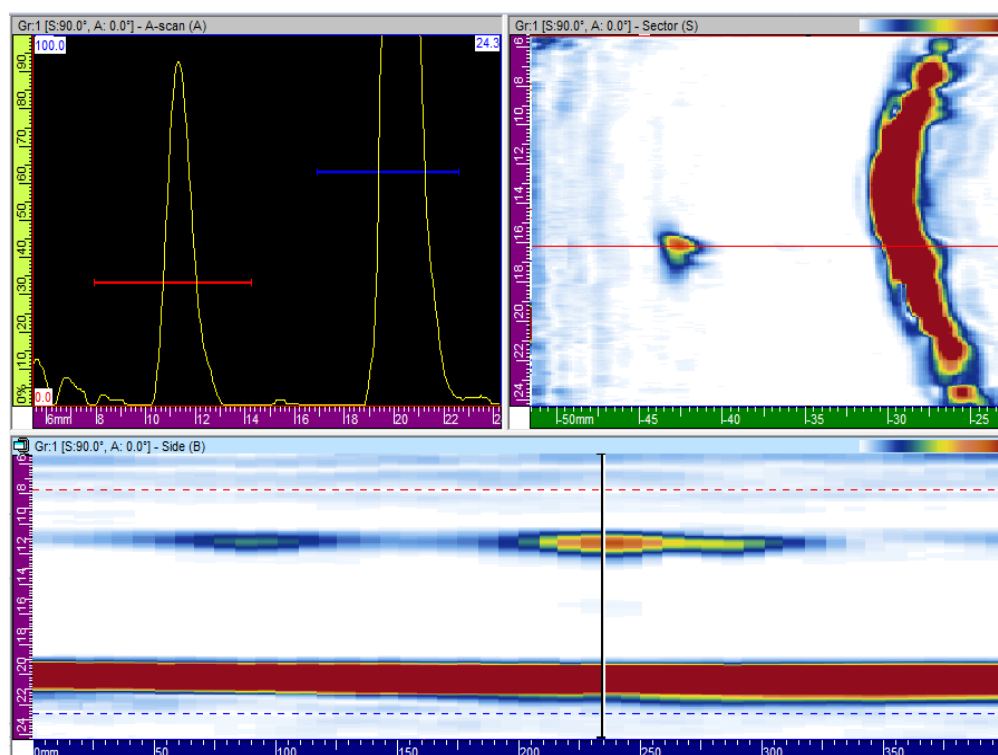
Ověření metodiky pro zjišťování vnitřních vad bylo provedeno na vzorku číslo 3, s přirozenou vadou v oblasti stojiny. Jedná se o axiálně orientovanou vadu složenou z většího počtu vměstků. Průměrná velikost vady je $\varnothing=2\text{mm}$ a je umístěna ve střední části stojiny v oblasti osy.

Použitý byl přístroj Omniscan MX a sonda 5L64-A2. Na rozdíl od předešlých případů je sonda osazena předsádkou SA2-0L. Tato předsádka je určena především pro lineární scan a její nominální úhel je 0° . Nastavení sondy je uvedeno v tabulce 5.3

Tabulka 4.3: Nastavení sondy pro lineární scan v oblasti stojiny

| Nastavení sondy 5L64-A2 lineární scan | |
|--|----------|
| Typ vlnění | podélné |
| rychlost šíření vlnění | 5890 m/s |
| scan | lineární |
| počet elementu | 16 |
| první element | 1 |
| poslední element | 49 |
| počáteční úhel | 0° |
| koncový úhel | - |

Z důvodu tvarové jednoduchosti zkoušené oblasti stojiny je jako druh snímání zvolen lineární scan.



Obrázek 4.11: Indikace vady v oblasti stojiny

Na obrázku 5.11 oblast A-scanu jsou zachyceny dvě indikace. První je indikace je vadová indikace a druhá indikace je tzv. koncové echo neboli indikace od zadní strany

materiálu. V oblasti lineárního scanu je patrné typické prohnutí tohoto koncového echa dané tvarem stojiny. Na zobrazení C-scanu je patrný především tvar zachycené vady. Tato vada se skládá ze dvou vměstků, kde větší vměstek je slzovitého tvaru.

4.3. Volba a doporučené nastavení jednotlivých sond

Při volbě jednotlivých sond a nastavení jejich parametrů, bylo použito grafického programu ESbeamtool 4. Software disponuje obsáhlou databází samotných sond a předsádek různých výrobců a je tedy možno vyzkoušet si pokrytí a nastavení sond bez nutnosti tyto sondy kupovat. Vlastnosti sondy je možno si navrhnout dle vlastních požadavků a určit veškeré parametry od počtů měničů, jejich šířku a vzájemnou vzdálenost, až pro samostatný typ dané sondy samostatně, v případě, že nám sériově vyráběné sondy nevyhovují. Výroba atypických sond je ale značně drahá. Software je určen především pro simulaci svarových ploch, které jsou předdefinované. Další možností simulace je použití formátu souboru konstruktéry používaného software Autocad. Tato varianta je vhodná především i k simulaci ultrazvukové kontroly na tvarově složitějších součástech. Software také umožňuje vyzkoušení jednotlivých detailních nastavení daných sond a graficky znázorní pokrytí zkoušeného průřezu jednotlivých profilu při různých nastavení úhlu jednotlivých měničů dané sondy.

Pro oblast hlavy jsou použity dva druhy uložení sond. Dvě sondy jsou uloženy po stranách kolejnice a jedna sonda, jejíž zkoumaná oblast zasahuje i do stojiny, je umístěna na temeni hlavy. Pro všechny tři oblasti lze doporučit použití sondy 5L32-A11 spolu s předsádkou s nulovým nominálním úhlem SA11-0L. Pro jednotlivé sondy lze zvolit nastavení uvedené v tabulkách 5.4 a 5.5.

Tabulka 4.4: Nastavení sondy umístěné na boku hlavy

| Nastavení sondy 5L32-A11 dělený scan | | | |
|---|------------|----|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Typ vlnění | příčné | | podélné |
| rychlost šíření vlnění | 3237,1 m/s | | 5890 m/s |
| scan | sektorový | | lineární |
| počet elementu | 4 | | 4 |
| první element | 1 | 29 | 1 |
| poslední element | - | - | 29 |
| počáteční úhel | 3° | 1° | 2° |
| koncový úhel | -4° | 9° | - |

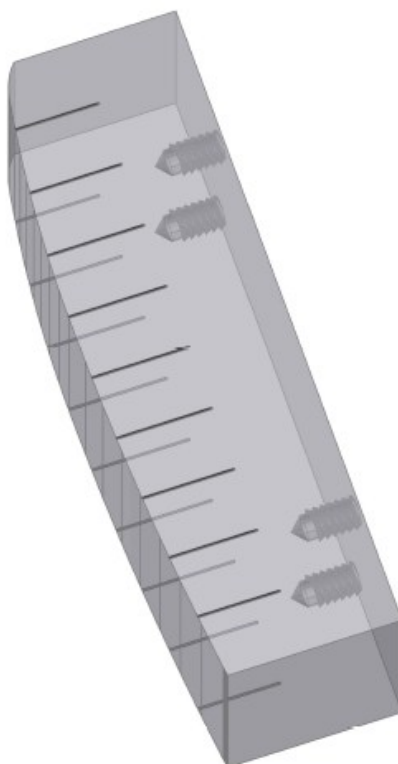
Tabulka 4.5: Nastavení sondy umístěné na temeni hlavy

| Nastavení sondy 5L32-A11 dělený scan | | | |
|---|------------|-----|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Typ vlnění | příčné | | podélné |
| rychlost šíření vlnění | 3237,1 m/s | | 5890 m/s |
| scan | sektorový | | lineární |
| počet elementu | 4 | | 4 |
| první element | 2 | 26 | 1 |
| poslední element | - | - | 27 |
| počáteční úhel | 0° | 0° | 0° |
| koncový úhel | -27° | 27° | - |

Jednotlivé oblasti snímání jsou rozděleny na tři části. Prostřední oblast je zkoumaná lineárním scanem a obě krajní oblasti sektorovým.

Další ze zkoumaných oblastí je stojina. Pro identifikaci axiálně orientovaných vad byla zvolena sonda 5L128-I2. Tato sonda je sice v katalogu uváděna jako imersní, ale při vhodném osazení předsádkou atypického tvaru (obr. 5.12), je možné tuto sondu použít.–V tomto případě je nutný přepočítání nastavení úhlů mezi těmito dvěma způsoby

zkoušení. Další možností je výroba sondy určené pro kontaktní zkoušení s obdobnými vlastnostmi jako výše jmenovaný typ imerzní sondy. Radiálně orientované vady jsou zachytávány dvojicí sond 5L32-A11 s předsádkou SA11-0L umístěných na temeni hlavy a ve spodní oblasti paty přesněji pod stojinou.



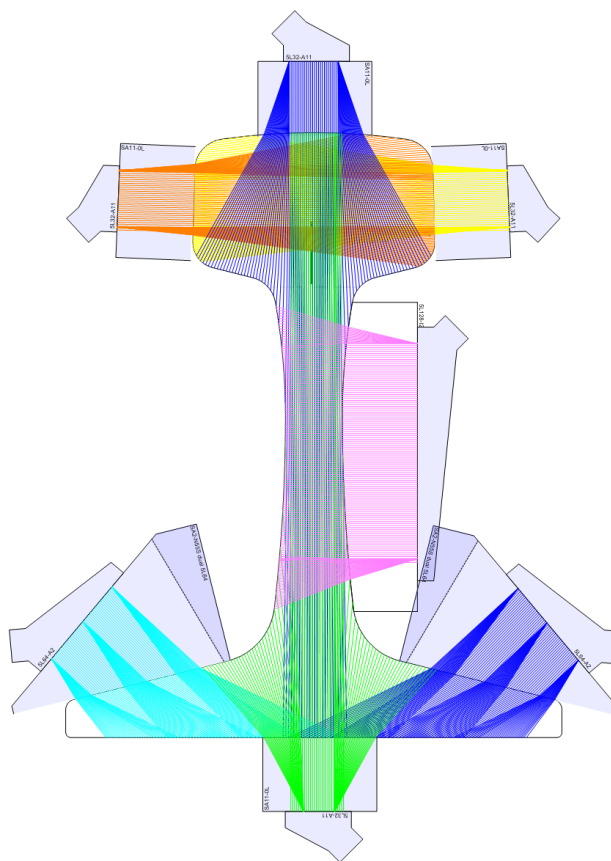
Obrázek 4.12 Předsádka

Tabulka 4.6: Nastavení sondy určenou pro oblast stojiny

| Nastavení sondy 5L128-I2 | | | |
|--------------------------|------------|------|----------|
| dělený scan | | | |
| | 1 | 2 | 3 |
| Typ vlnění | příčné | | podélné |
| rychlost šíření vlnění | 3237,1 m/s | | 5890 m/s |
| scan | sektorový | | lineární |
| počet elementu | 16 | | 16 |
| první element | 1 | 113 | 1 |
| poslední element | - | - | 128 |
| počáteční úhel | 0° | 0° | 0° |
| koncový úhel | 22° | -22° | - |

Uložení jednotlivých sond je znázorněno na obrázku 5.14. Je zde i patrné pokrytí jednotlivých oblastí celého průřezu profilu. Jak je patrné největší rozdíl od původního způsobu zkoušení je zejména v oblasti paty kolejnice. Rozložení jednotlivých sond je pouze informativní a před použitím jednotlivého nastavení je třeba jej vyzkoušet v praxi.

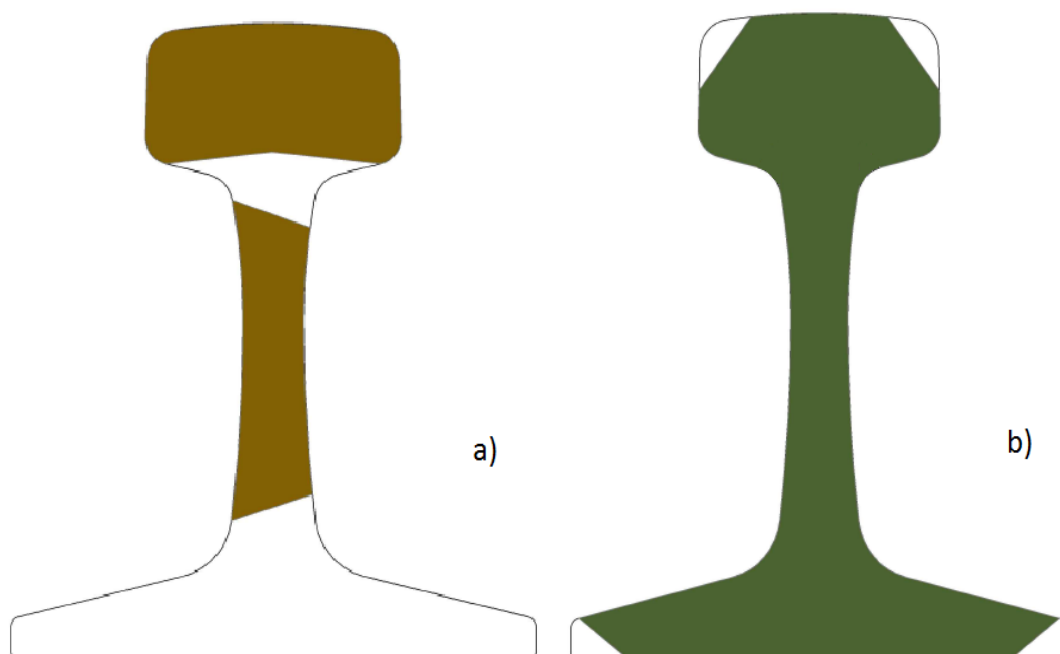
Konečné nastavení a umístění sond značně redukovalo jejich samotný počet. Například v oblasti stojiny je u stávajícího zkoušení zapotřebí 4-6 sond dle typu zkoušené kolejnice u nové metodiky zkoušení je tento počet zredukován na jednu sondu. Bohužel pro různorodost výšky jednotlivých typů kolejnic je třeba disponovat větším počtem druhů sond a zejména předsádek. Jednotlivé předsádky by se měly měnit u jednotlivého typu kolejnic z důvodu tvarových odlišností jednotlivých typů kolejnice a nutností zabezpečení vhodné vazby.



Obrázek 4.13 Navrhované umístění jednotlivých sond

5. Technicko-ekonomické zhodnocení stávajícího a nového řešení.

Použitím této metody byla zvýšena celková kontrolovaná plocha o 24,45% na 97,37% celkového průřezu. Z toho axiálně orientované vady lze kontrolovat na 51,75% zkoumaného průřezu oproti původním 46,75%. U radiálně orientovaných vad lze zvýšit plochu kontrolované oblasti z původním 67,44% průřezu kolejnice až na 93,37%. Rozdělení jednotlivých oblastí podle orientace vad je zobrazeno na obrázku 6.1.



Obrázek 5.1: Dělení kontrolovaných oblastí podle orientace vad

a)axiální vady b)radiální vady

Toto zvýšení kontroly kvality si však vyžaduje nemalou finanční investici. Již při pořízení ručního přístroje s nezbytným příslušenstvím se bude částka pohybovat v miliónech korun. Při zavedení celého systému do automatizovaného procesu bude zapotřebí nejenom sestavit nový operační systém celého zkoušení, ale také konstrukčně řešit způsob přísunu a vedení jednotlivých sond, neboť dosavadní konstrukční řešení je vzhledem k detailnějšímu nastavení zvolených sond nedostačující. V tomto případě

se částka vyšplhá několikanásobně výš. Z tohoto hlediska je vhodnějším řešením modernizace pomocí klasických sond a metodou Phased Array se zabývat při zvýšených nárocích na kvalitu plynoucích z požadavků normy nebo přání zákazníka. Také ze získaných zkušeností je nutné konstatovat, že technologie i přes uspokojivé výsledky v jednotlivých pokusech ověřování metodiky, zejména při zjišťování vnitřních vad, nemusí mít obdobné výsledky v případech specificky orientovaných vad zejména trhlin u tvarově složitějších zkoumaných oblastí. V těchto případech lze doporučit kombinaci navrhované metodiky a ultrazvukových sond s povrchovým vlněním.

Pokud bychom se ale ubírali cestou použití sond Phased Array nastává další závažné rozhodnutí, zda volit realizaci svépomocí na konstrukci staré kontrolní linky, nebo přenechat realizaci celé nové linky externí firmě. Vzhledem k dosti značnému opotřebení základní konstrukce korozí způsobenou především používáním vody jako vazebního prostředku u této metody, přikláním se k volbě druhé varianty. Vedlejšími náklady při realizaci této metody je i školení operátorů v podobě kurzů se zaměřením na používání metody Phased Array.

6. Závěr

V diplomové práci byla řešena problematika vyhodnocování vad kolejnic pomocí ultrazvuku při jejich výrobě. Poukazuje se zde na výhody a nevýhody zkoušení celistvosti materiálu pomocí metody Phased Array oproti používání klasických sond. Největší výhodou je možnost elektronického ovládní geometrie svazku a s tím spojenou zvýšenou schopnost zachycení i nevhodně orientovaných vad obtížně zachytitelných při používání klasických sond. Taktéž je díky této vlastnosti možno zvolit různé nastavení jedné sondy a tak používat jednu a ne několik sond se specifickými vlastnostmi. Tato vlastnost je násobena možností skupinového scanu. Další výhodou této metody je grafické znázornění pomocí C-scanu, z kterého je patrné umístění, orientace a velikost vady bez větších nároků na obsluhu linky oproti klasickému zobrazení pomocí A-scanu. Dále je také možnost použití sond, které mají i několika násobně větší kontaktní plochu a tedy

prozkoumají větší oblast průřezu pomocí jediného scanu a s tím spojena úspora množství jednotlivých sond.

Výsledky této diplomové práce ukazují možnosti rozšíření kontroly kolejnic, například v případě blížící se rekonstrukce měřicího centra, nebo při zpřísnění požadavků, dané normou, související s jednotlivými druhy kolejnic. Tuto metodu lze ale doporučit především pro ruční zkoušení svarů a svarových ploch. Zde se maximálně využije předností této metody a samotné ruční přístroje již nejsou tak finančně náročné, i když jejich cena je několikanásobně vyšší než u klasických ultrazvukových přístrojů a sond. Další výhodou je zkoušení celého průřezu svaru najednou bez nutnosti náročné manipulace se sondou při podstatném snížení času samotného zkoušení.

Použitá literatura:

- [1] OBRAZ, J. *Ultrazvuk v měřicí technice*. Praha: SNTL Praha, 1984.
- [2] OBRAZ, J. *Zkoušení materiálu ultrazvukem*. Praha: SNTL Praha, 1989. 464 s. ISBN 80-03-00097-1
- [3] TATAR, M. *Ultrazvuk ve strojírenství*. Praha: SNTL Praha, 1962.
- [4] ŠVEHLA, Š. FIGURA, Z. *Ultrazvuk v technologii*. Bratislava: ALFA Bratislava, 1984.
- [5] *Kontroltest spol. s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2011-05-23]. Metoda prozařování. Dostupné z WWW: <<http://www.controltest.cz/metody-ndt/prozarovanim.php>>.
- [6] *Skupina / Group TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY - MORAVIA STEEL* [online]. 2005 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.trz.cz/>>.
- [7] *Zoušení ultrazvukovou metodou* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010-04-05 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <http://ateam.zcu.cz/download/ultrazvuk_2010.pdf>.
- [8] *Ob-ultrasound* [online]. 2003-05-15 [cit. 2011-05-23]. Phased arrays and Jan C Somer. Dostupné z WWW: <<http://www.ob-ultrasound.net/somers.html>>.
- [9] *OLYMPUS CORPORATION* [online]. 2003-05-15 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.olympus-ims.com/cs/>>.
- [10] LIBOSVÁR, J.: *Rekonstrukce řezů objekty z ultrazvukových fázových polí* [online]. Praha, 2010. 67 s. Diplomová práce. ČVUT. Dostupné z WWW: <http://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/f/f5/Dp_2010_libosvar_jan.pdf>.
- [11] ERMOLOV, I. N.: *Metody ul'trazvukovej defektoskopii*. Moskva: Moskevskij gornyj institut 1966.
- [12] CARLIN, B.: *Ultrasonics*. New York: MCgraw-Hill 1960.

[13] METHERELL, A. F. a kol.: Acoustical holography. New York: Plenum Press 1971.

[14] DUNEGAN, H. L. – TETELMANN, A. S.: Acoustic emission. Research development, 1971.

[15] WEINGART I.: *Návrh technologie stříhání sochoru tvarovými noži*. Ostrava 2008
Bakalářská práce. VSB Ostrava. Vedoucí práce Jiří Hrubý.

[16] MATOUŠEK, J.: *Zkoušení ultrazvukem*. Level I. Praha, 2005. 168 s. Učební texty
fa ATG

[17] MATOUŠEK, J.: *Zkoušení ultrazvukem* Level II. Praha, 2008. 206 s. Učební texty
fa ATG

[18] *TDK system CZ, a.s.* [online]. 2005, 18.3.2012 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z:
www.tdksystemcz.cz

[19] *Testima, spol. s r.o.* [online]. 2011, 11.4.2012 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z:
www.testima.eu

[20] *ATG - NDT defektoskopie a personální kvalifikace* [online]. 2008, 22.4.2012 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: www.atg.cz

[21] DRINKWATER, B. W.; WILKOX, P. D.: *Ultrasonic arrays for non-destructive evaluation: A review*. *NDT & E International*, ročník 39, č. 7, 2006: s. 525 – 541, ISSN 0963-8695

Seznam obrázků

- 2.1 Podélné vlny
- 2.2 Příčné vlny
- 2.3 Povrchové vlny
- 2.4 Lambovy vlny
- 2.5 Ultrazvukové sondy
- 2.6 Dvojité sondy
- 2.7 Konstrukce úhlové sondy
- 2.8 Vlnová transformace-Snellův zákon
- 2.9 Detekce povrchových trhlin
- 2.10 Průchodová metoda
- 2.11 Odrazová metoda
- 3.1 Blokovna
- 3.2 Dělení oblasti dle orientace vad
- 3.3 Oblasti kolejnice kontrolované pomocí ultrazvuku
- 3.4 Dělení kontrolovaných oblasti podle orientace vad
- 3.5 Oblasti kontrolované na výskyt povrchových trhlin
- 4.1 Sonda Phased Array
- 4.2 Základní uspořádání fázových polí
- 4.3 Konstrukce měniče
- 4.4 Ultrazvukové pole lineární
- 4.5 Naklonění ultrazvukového svazku
- 4.6 Fokusace ultrazvukového svazku
- 4.7 Metody snímání fázových polí

- 4.8 A-scan
- 4.9 Sektorový scan
- 4.10 Lineární scan
- 4.11 C-scan
- 4.12 Předsádky
- 4.13 Sonda 5L64-A2 – dělený scan
- 5.1 Přístroj Omni scan MX
- 5.2 Náčrt rozložení umělých vad
- 5.3 Sektorový scan – jednoduché nastavení
- 5.4 Zobrazení jednoduchého scanu v oblasti paty – vada č.1
- 5.5 Zobrazení jednoduchého scanu v oblasti paty – vada č.2
- 5.6 Zobrazení jednoduchého scanu v oblasti paty – vada č.3
- 5.7 Zobrazení skupinového scanu v oblasti paty – vada č.1
- 5.8 Zobrazení skupinového scanu v oblasti paty – vada č.2
- 5.9 Zobrazení skupinového scanu v oblasti paty – vada č.3
- 5.10 Indikace přirozené vady
- 5.11 Indikace vady v oblasti stojiny
- 5.12 Předsádka
- 5.13 Navrhované umístění jednotlivých sond
- 6.1 Dělení kontrolovaných oblastí podle orientace vad

Seznam tabulek

- 5.1 Nastavení sondy pro jednoduchý scan v oblasti paty
- 5.2 Nastavení sondy pro dělený scan v oblasti paty
- 5.3 Nastavení sondy pro lineární scan v oblasti stojiny
- 5.4 Nastavení sondy umístění na boku hlavy
- 5.5 Nastavení sondy u umístění na temeni hlavy
- 5.6 Nastavení sondy určenou pro oblast stojiny